

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr Ing.  
**Bernhard Schmidt**

**Die Realisierbarkeit eines  
energieautarken Wohnhauses  
unter besonderer  
Berücksichtigung von  
Batteriespeichern**

Mittweida, 2016



# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Die Realisierbarkeit eines energieautarken Wohnhauses unter besonderer Berücksichtigung von Batteriespeichern**

Autor:  
**Herr Ing.**

**Bernhard Schmidt**

Studiengang:  
**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:  
**KW12wIA-F**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr. Andreas Hollidt**

Zweitprüfer:  
**Prof. Dr. Andreas Piel**

Einreichung:  
**Mittweida, 26.Juli 2016**

Verteidigung/Bewertung:  
**Mittweida 2016**



# **DIPLOMA THESIS**

---

## **The feasibility of an energy self-sufficient residential building, with particular focus on battery storage systems**

author:

**Mr. Ing.**

**Bernhard Schmidt**

course of studies:

**Industrial Engineering**

seminar group:

**KW12wIA-F**

first examiner:

**Prof. Dr. Andreas Hollidt**

second examiner:

**Prof. Dr. Andreas Piel**

submission:

**Mittweida, 26.Juli 2016**

defence/evaluation:

**Mittweida 2016**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Schmidt Bernhard:

Die Realisierbarkeit eines energieautarken Wohnhauses unter besonderer Berücksichtigung von Batteriespeichern - 2016. - 15, 82, 3 S.

Technisch-wirtschaftliche Realisierbarkeit eines energieautarken Wohnhauses mit Fotovoltaik (PV), Stromspeicher und Elektroheizung und Untersuchung des Umfeldes der erneuerbaren Energien und bekannter Gebäudekonzepte.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2016

## **Referat:**

Die Arbeit befasst sich mit unterschiedlichen Gebäudekonzepten und Heizsystemen im Hinblick auf Autarkie und Kosten. Die Voraussetzungen eines energieautarken Wohnhauses werden hinsichtlich Unabhängigkeit, Elektrizität, Batteriespeichern und Gebäudekonzept untersucht. Die Planung eines konkreten Beispiels soll Aufschluss über die technisch-wirtschaftliche Realisierbarkeit geben.

**Danke:**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich ermutigt haben, dieses Studium zu absolvieren, die mich inspiriert und die mich unterstützt haben. Ein besonderer Dank für die Geduld an Wochenenden und Abenden gilt daher meiner Familie mit meiner Frau Barbara und meinen Kindern Lea und Moritz. Vielen Dank für den fachlichen Austausch und das Lektorat während meines Studiums an Katharina, Daniela und Cornelia.

Bernhard Schmidt





# **I. Inhalt**

I.	Inhalt.....	1
II.	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis .....	4
III.	Abkürzungen .....	7
1	Einleitung.....	9
1.1	Problemstellung .....	11
1.2	Zielsetzung.....	13
1.3	Methodische Vorgehensweise .....	13
2	Energieeffizient planen und bauen .....	15
2.1	Gebäudekonzepte.....	15
2.1.1	Passivhaus .....	17
2.1.2	Aktivhaus.....	20
2.1.3	Aktivhaus B10 by Werner Sobek.....	21
2.1.4	Plus-Energie-Haus .....	23
2.1.5	Sonnenhaus .....	23
2.1.6	Aktiv-Plus Haus .....	25
2.2	Energietechnische Planung .....	26
2.2.1	Der Energieausweis .....	27
2.2.2	OIB-RL6 .....	28
2.2.3	Energieausweis-Vorlage-Gesetz .....	30
2.2.4	Bauphysik.....	30
2.2.5	Berechnungsmethoden .....	31
2.2.6	Energieausweisberechnung mit Vereinfachungen .....	31
2.2.7	Energieausweisberechnung detailliert .....	33
2.2.8	Vorteil detaillierter Planung.....	35
2.3	Hocheffiziente alternative Systeme .....	36

2.3.1	Beispiel 1: Gas-Brennwertkessel in Kombination mit Warmwasser-Solar	39
2.3.2	Beispiel 2: Wärmepumpe .....	40
2.3.3	Beispiel 3: Pelletkessel.....	42
2.3.4	Beispiel 4: Strom-Direktheizung in Kombination mit Fotovoltaik-Anlage	43
2.4	Wirtschaftlichkeit .....	44
2.4.1	Widerspruch Wirtschaftlichkeit - Wohnen .....	44
2.4.2	Die Wirtschaftlichkeit im Allgemeinen .....	45
2.4.3	Die Wirtschaftlichkeit bei Gebäudekonzepten .....	48
2.4.4	Kosten energieeffizienten Bauens .....	50
3	Autarkhaus-Voraussetzungen .....	52
3.1	Autarkie und Autonomie .....	52
3.1.1	Begriffsdefinition und Abgrenzung Autarkie/Autonomie.....	52
3.1.2	Warum Autarkie? .....	53
3.1.3	Unabhängigkeit von Einspeisetarifen .....	53
3.1.4	Unabhängigkeit von Lieferengpässen und Energiepreisschwankungen.....	54
3.1.5	Unabhängigkeit bei Stromausfall .....	54
3.2	Die Zukunft ist elektrisch .....	55
3.2.1	Photovoltaik .....	56
3.2.2	Elektro-Heizung .....	57
3.2.3	Smart Grids .....	60
3.2.4	Virtuelle Kraftwerke .....	61
3.2.5	Energie-Speicherung .....	63
3.3	Batteriespeicher .....	65
3.3.1	Lithium-Ionen-Speicher (Llon) .....	65
3.3.2	Einsatzbereich von Llon-Speichern .....	66
3.3.3	Speicherkosten.....	67

3.3.4	Spezifische Speicherkosten .....	68
3.4	Autarkhaus Gebäudekonzept.....	73
3.4.1	Gebäudehülle .....	73
3.4.2	Raumwärmebereitstellung.....	73
3.4.3	Warmwasserwärmebereitstellung.....	74
3.4.4	Haushaltstrom .....	74
3.4.5	Energieerzeugung .....	74
3.4.6	Energiespeicherung.....	74
3.4.7	Lufthygiene und Bauphysik .....	75
4	Realisierbarkeit.....	76
4.1	Technische Realisierbarkeit.....	76
4.1.1	Planungsgrundlagen.....	76
4.1.2	Planung Gebäudestandard mit Energieausweis.....	80
4.1.3	Berechnung PV-Anlage .....	81
4.2	Wirtschaftliche Realisierbarkeit.....	84
4.2.1	Kosten .....	84
4.2.2	Rentenbarwerte - Annuitäten.....	84
4.2.3	Kostenvergleich .....	85
5	Schluss.....	89
5.1	Ergebnisse .....	89
5.2	Maßnahmen.....	90
5.3	Konsequenzen .....	90
IV.	Literaturverzeichnis .....	91
V.	Anlagen .....	98
A.	Screenshot Website Volker Quaschnig .....	98
B.	U-Wertberechnungen Autarkhaus .....	99
VI.	Selbstständigkeitserklärung .....	101

## II. Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1 Welche Heizung passt zu meinem Haus? Energieinstitut Vorarlberg in Kooperation mit Energie Tirol.....	16
Tabelle 2 Bewertungsmatrix Klimaaktiv-Heizsysteme.....	16
Tabelle 3 Berechnung Wirtschaftlichkeit Passivhaus .....	18
Tabelle 4 Berechnung Dämmstoffkosten; Vereinfachte Berechnung .....	33
Tabelle 5 Preis je kWh; Vereinfachte Berechnung .....	33
Tabelle 6 Berechnung Dämmstoffkosten optimiert.....	34
Tabelle 7 Preisdifferenz .....	34
Tabelle 8 Preise unterschiedlicher Energieträger, aus Gebäudeprofi 3D.....	39
Tabelle 9 Saldo Jahresenergiekosten .....	83
Tabelle 10 Annuitäten Autarkhaus; Eigene Berechnung.....	85
Tabelle 11 Eigene Berechnung Annuität inkl. Kosten Verteilsystem .....	86
Tabelle 12 Eigene Berechnung Gesamtkosten inkl. Strom .....	88
Tabelle 13 Eigene Berechnung; Jährliche Kosten Niedrigstenergiehaus.....	88
Abbildung 1 Berechnung Autarkie mit PV ohne Speicher .....	12
Abbildung 2 Aktivhaus B10 - Copyright Zooey Braun, Stuttgart .....	21
Abbildung 3 Schema Sonnenhaus .....	24
Abbildung 4 Energieausweis Bauordnung-Standard.....	27
Abbildung 5 Kompaktes EFH .....	32
Abbildung 6 Gebäudedaten Standardberechnung .....	32
Abbildung 7 Berechnung Außenwand bei vereinfachter Berechnung .....	33
Abbildung 8 Berechnung Außenwand optimiert .....	34
Abbildung 9 Preis je kWh optimiert .....	35
Abbildung 10 Berechnungsergebnisse Beispielgebäude, aus Gebäudeprofi 3D .....	38
Abbildung 11 Primärenergiebedarf und CO <sub>2</sub> Emission Gastherme Solar, Beispiel 1; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	40
Abbildung 12 Energiekosten Beispiel 1 Gastherme mit Solar; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	40
Abbildung 13 Berechnung JAZ.....	41
Abbildung 14 Primärenergiebedarf und CO <sub>2</sub> Emission Beispiel 2 Wärmepumpe; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	41

Abbildung 15 Energiekosten Beispiel 2 Wärmepumpe; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	41
Abbildung 16 Primärenergiebedarf und CO <sub>2</sub> Emission Beispiel 3 Pelletkessel; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	42
Abbildung 17 Energiekosten Beispiel 3 Pelletkessel; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	42
Abbildung 18 Primärenergiebedarf und CO <sub>2</sub> Emission Beispiel 4 Stromdirektheizung mit PV; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 ...	43
Abbildung 19 Energiekosten Beispiel 4 Stromdirektheizung mit PV; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10 .....	44
Abbildung 20 PVA-Speicherkongress, Ernst Haigermoser über emotionale Amortisation .....	45
Abbildung 21 Kennzahlen Wöhe, 2013, S. 43.....	46
Abbildung 22 Kennzahlen (Wöhe & Döring, 2013, S. 908) .....	48
Abbildung 23 Vergleich Anforderungsniveaus .....	51
Abbildung 24 PV-Leistung am Netz in Deutschland.....	57
Abbildung 25 Behaglichkeitsfelder für das Wertepaar Raumlufttemperatur / mittlere Raumumschließungsflächentemperatur (nach Roedler, Frank, Grandjean und Fanger).....	59
Abbildung 26 Darstellung Smart Grid.....	60
Abbildung 27 Virtuelles Kraftwerk Sonnencommunity.....	62
Abbildung 28 Schwankungsbreite Zyklenzahl .....	63
Abbildung 29 Spezifische Speicherkosten .....	64
Abbildung 30 Anwendungsfelder unterschiedlicher Speicher .....	64
Abbildung 31 Einsatz von Speichersystemen (Korthauer) .....	67
Abbildung 32 Degenerationsfunktion einer Batterie; Eigene Darstellung .....	68
Abbildung 33 Speichervergleich; Eigene Berechnung; Daten 2015 lt. Stromspeicher.org.....	70
Abbildung 34 Strompreise Europa .....	71
Abbildung 35 Speicher Szenario; Eigene Darstellung.....	72
Abbildung 36 Sonnengang Grundstück Strass.....	77
Abbildung 37 Binder Brettschichtholz.....	79
Abbildung 38 Gebäudekenndaten Autarkhaus mit PV und Lüftung; Darstellung aus Gebäudeprofi 3D .....	80

Abbildung 39 Wärme und Energiebedarf Autarkhaus mit PV und Lüftung; Berechnet mit Gebäudeprofi 3D.....	80
Abbildung 40 Heizenergiebedarf Monatsbilanz Autarkhaus mit PV und Lüftung; Berechnet mit Gebäudeprofi 3D.....	81
Abbildung 41 Berechnung täglicher Gesamtenergiebedarf; Eigene Berechnung	81
Abbildung 42 Beschattungssituation durch Gelände am Standort; Eigene Darstellung.....	81
Abbildung 43 Autarkhaus-Tageslastprofil für Jänner; Abbildung aus ETU PV- Simulation .....	82
Abbildung 44 Autarkhaus - monatsweise unterschiedliche Lastprofile; Abbildung aus ETU-PV-Simulation .....	82
Abbildung 45 Ergebnis PV-Simulation Autarkhaus; Berechnet mit ETU PV- Simulation .....	83
Abbildung 46 Vollkostenvergleich IWO .....	85
Abbildung 47 Vollkostenvergleich Energieagentur .....	87

### III. Abkürzungen

A-BWL	Allgemeine Betriebswirtschaftslehre
ASI	Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut
BHKW	Block-Heiz-Kraftwerk
bzgl.	bezüglich, Bezug nehmend auf
bzw.	beziehungsweise
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EA	Energieausweis
EAVG	Energieausweis-Vorlage-Gesetz
EBPD	European Directive Energy Performance of Buildings (Europäische Gebäuderichtlinie)
EEB	Endenergiebedarf
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl
EnEV	Energieeinspar-Verordnung
EPS-F	expandiertes Polystyrol - Fassadendämmstoff
Etc.	Et cetera
EU	Europäische Union
€	Euro
exkl.	exklusive
HK	Herstellkosten
HmÖ	Heizen mit Öl Gesellschaft mbH
HWB	Heizwärmebedarf
HWB <sub>RK</sub>	HWB bezogen auf Referenzklima
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinne
Kap.	Kapitel
kWh	Kilowattstunde
kWh/m <sup>2</sup> a	Kilowattstunden pro m <sup>2</sup> im Jahr
kWp	Kilowatt-Peak
L	Liter
Li	Lithium

Lion	Lithium-Ionen
MwSt.	Mehrwertsteuer
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖNORM	Österreichische NORM
P(HWB)	Preis bezogen auf den HWB
p.a.	per anno
PHPP	Passivhaus-Projektierungs-Paket
PV	Fotovoltaik (Photovoltaik)
PVT	PV mit thermischem Kollektor kombiniert
QS	Qualitätssicherung
RL6	Richtlinie 6 des OIB
Vgl.	Vergleiche
vs.	Versus
V2H	Vehicle to Home
WDVS	Wärmedämm-Verbund-System
WLG	Wärmeleitgruppe
WSV	Wärmeschutzverordnung
XPS	extrudiertes Polystyrol
z.B.	zum Beispiel



# 1 Einleitung

Die europäische Energiepolitik fordert bis zum Jahr 2020 den Ausbau erneuerbarer Energien, die Effizienzsteigerung und die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Europa entfallen ein Drittel des Primärenergiebedarfs auf den Gebäudesektor. Die europäische Gebäuderichtlinie (EBPD) fordert bis zum Jahr 2020 einen nicht näher definierten „Nearly Zero Emission Building – Standard“ für alle Neubauten.

Was auf europäischer Ebene zu mehr Unabhängigkeit von Energieimporten und auf ökologischer Ebene zur Reduktion von Treibhausgasen und zum Klimaschutz führen soll, trifft den einzelnen Bauherren mit höheren Kosten bei der Umsetzung.

Die wertmäßige Definition des ökonomischen Prinzips lautet, mit einem gegebenen Geldbetrag einen maximalen Erlös oder einen bestimmten Erlös mit minimalem Einsatz zu erreichen.

Gewinn definiert sich über Ertrag minus Aufwand und lässt sich über die Erhöhung des einen bzw. Senkung des anderen maximieren.<sup>1</sup>

Analog zur Betriebswirtschaftslehre gibt es in Fragen der Energieeffizienz zwei Stellmechanismen: Die Effizienzsteigerung bei der Energieerzeugung (Umwandlung) in Form von Wirkungsgrad- und Arbeitszahlsteigerungen der Heizsysteme und die Reduktion des Energiebedarfes durch bessere Gebäudehüllen.

Dem folgend haben sich unterschiedliche Ansätze gebildet. Einerseits hocheffiziente Gebäudehüllen wie beim Passivhaus, andererseits die Weiterentwicklung bestehender und Entwicklung neuer Gebäudetechnik, Heizsysteme, Lüftungssysteme, Steuerungs- und Regelungstechnik, aber auch die Energiegewinnung vor Ort.

Die Anlagentechnik hat sich dabei nicht nur in Richtung Effizienzsteigerung herkömmlicher Technik, sondern auch durch neue Technologien, die besonders klimaneutral sind, geändert. Werden Brennwert-Ölheizungen heute noch häufig im

---

<sup>1</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 1f)

Bestand eingesetzt, so reicht die Heiztechnik im Neubau von Gas-Thermen, über Holz- und Pelletheizungen bis zu Luft- oder Wasserwärmepumpen, Solaranlagen zur Warmwasserbereitung oder Heizungsunterstützung, BHKW (Block-Heiz-Kraftwerke) oder Elektro-Direktheizungen.

Sehr früh schon war klar, dass im Sommer weit mehr solare Energie zur Verfügung steht, als für Warmwasser und Beheizung das ganze Jahr über benötigt wird. Daraus entstanden erste Ideen, diese Sonnenenergie zu nutzen.

Die hohen Anforderungen an das energieeffiziente Bauen und die neuen technologischen Möglichkeiten haben zahlreiche Gebäudekonzepte hervorgebracht.

Passivhaus-Konzepte haben dabei vorwiegend die Steigerung der Energieeffizienz bei der Gebäudehülle im Visier. Dabei spielen die Dämmwerte der Gebäudehüllfläche, die Minimierung von Wärmebrücken, die Luft- und Winddichtheit, aber auch die Lage und Geometrie eine wichtige Rolle. Mit der neuen Bauweise veränderte sich auch die Bauphysik, was Lüftungsanlagen aus bauphysikalischer Sicht und Gründen der Lufthygiene heute unerlässlich macht. Zusätzlich sorgen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung für erhebliche Einsparung an Lüftungswärmeverlusten. Passivhäuser sind dabei so konzipiert, dass sie keine Heizung benötigen. Dennoch verfügen diese aus Komfortgründen und abhängig von der geographischen Lage über Zusatzheizungen wie Kachelöfen oder Luftwärmepumpen. Der Haushaltstrom wird aus dem Stromnetz bezogen.

Die Idee von Sonnenhäusern gründet darin, die im Sommer im Überfluss vorhandene solarthermische Energie in großvolumigen Speichern, die zum Teil direkt im Haus über mehrere Geschoße untergebracht sind, möglichst weit in den Winter hinein zu speichern. Die Gebäudehülle wird dabei lediglich so gut ausgeführt wie es die Deckung des Energiebedarfes durch die Solarenergie erfordert. Die Herausforderung der Erzeugung von Strom war damit noch nicht gelöst und das Konzept aus Kosten- und Platzgründen begrenzt umsetzbar. Elektrische Energie wird aus dem Stromnetz bezogen.

Gebäudekonzepte wie das Aktivhaus setzen nun darauf, dass Gebäude einen Teil oder die gesamte benötigte Jahresenergie selbst erzeugen. Plus-Energiehäuser fordern einen bilanziellen Jahresüberschuss der erzeugten Energie über die verbrauchte. Die Bilanzgrenzen sind dabei je nach Konzept unterschiedlich und reichen von der Grundstücksgrenze über lokale Verbünde bis hin zur politischen Landesgrenze. Die weitreichenden Bilanzgrenzen und Bilanzzeiträume erfordern, dass die erzeugte Energie, die nicht im selben Augenblick benötigt wird, von jemand anderes verbraucht wird. Ein Großteil der selbst erzeugten Energie kann nicht selbst verbraucht werden. Aktiv- und Plus-Energiehäuser verfügen meist über verbesserte Gebäudehüllen und aufwendige Haustechnik.

Während einerseits die Gebäudekonzepte komplexer und aufwendiger werden, stoßen selbige zwangsläufig an ihre wirtschaftlichen, aber auch technischen Grenzen.

Der Boom in der Solarindustrie ließ Preise fallen, so dass die Erzeugung von Solarstrom heute billiger ist, als der Bezug von elektrischer Energie aus dem Stromnetz. Dies veränderte die Gebäudekonzepte dahingehend, dass nun nicht mehr nur die effiziente Nutzung von Energie und die Verbesserung der Gebäudehülle im Vordergrund steht, sondern auch die Erzeugung hochwertiger Energie an Ort und Stelle an Bedeutung zunimmt.

## **1.1 Problemstellung**

Die Problematik bei der Nutzung erneuerbarer Energien in Mitteleuropa ist, dass Energieerzeugung und Energieverbrauch zeitlich auseinanderliegen. Während die meiste Solarenergie um die Mittagszeit erzeugt wird, liegt der Verbrauch der privaten Haushalte eher in den Morgen und Abendstunden. Die Folge ist, dass überschüssiger Strom ins Netz eingespeist wird. Für eine Zeit lang galt dies als finanziell attraktives Modell, waren doch Renditen von 10% und mehr zu erzielen. Zwischenzeitlich hat sich die Situation dahingehend geändert, dass das Netz als kostenloser Energiepuffer an seine technischen Grenzen stößt. Die Einspeisevergütungen sind heute kaum lukrativ, liegen sie doch meist unter dem Tarif für den

Netzbezug. Über die intelligenten Smart Meter werden künftig zusätzlich flexible Strom- bzw. Einspeisetarife geregelt, die bei Sonnenstromüberschuss weiter sinken.

Die Konsequenz daraus ist, möglichst viel selbst erzeugte Energie auch selbst zu verbrauchen. Dem sind aufgrund von Wetterbedingungen, Nutzerverhalten und Tag/Nacht Grenzen gesetzt. Die maximale Autarkie, also jener Anteil der verbrauchten Energie, die auch selbst erzeugt wird, liegt für typische 5kWp PV-Anlagen im Einfamilienhaushalt bei rund 30%.

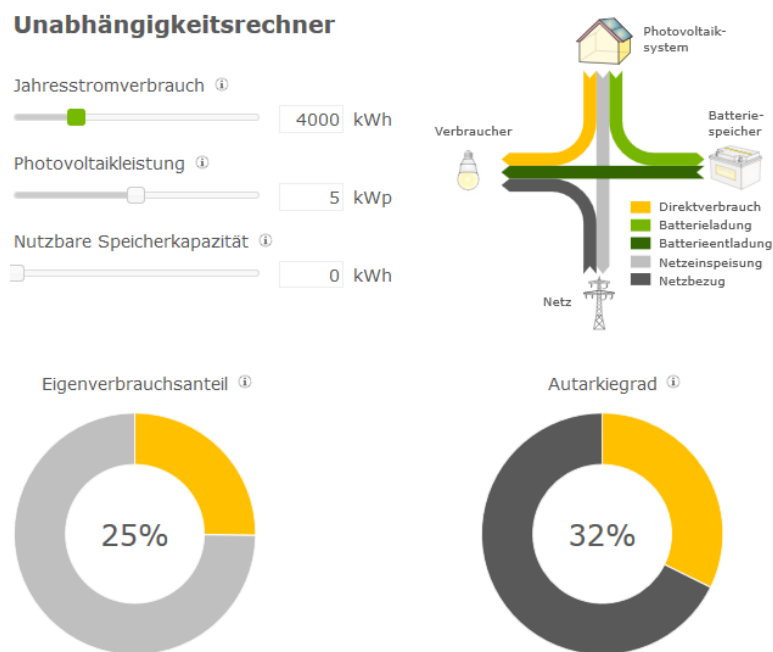


Abbildung 1 Berechnung Autarkie mit PV ohne Speicher<sup>2</sup>

Eine Lösung hierbei stellen Energiespeicher dar. Da Elektrizität die hochwertigste bekannte Energieform ist, die in andere Energieformen umgewandelt werden kann und die Preise von Energiespeichern stark gesunken sind, bezieht sich diese Arbeit auf die Speicherung elektrischer Energie mittels Batteriespeichern. Vornehmlich aus Kostengründen wurden Gebäudekonzepte mit Stromspeicher als tragendem Bestandteil des Gebäudekonzeptes bisher nicht forciert.

<sup>2</sup> Vgl. (htw Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2016)

## **1.2 Zielsetzung**

Mit der gegenständlichen Arbeit soll aufgezeigt werden, inwiefern mit Batteriespeichern und einfacher Haustechnik gebäudetechnische Lösungen realisiert werden können.

Einerseits sollen die Rahmenbedingungen und die Zukunftsfähigkeit für ein energieautarkes Haus mittels Batteriespeicher untersucht werden.

Andererseits wird der Zielkonflikt Baukosten vs. Betriebskosten (Energiekosten) untersucht und die Rolle der Autarkie erörtert. Dem ökonomischen Minimalprinzip folgend, soll das Ziel (warmes Haus) mit minimalem Aufwand erreicht werden.

Die erarbeitete Lösung wird beispielhaft mit konventionellen Energiekonzepten verglichen. Fällt der Kostenvergleich (Annuitäten) für die erarbeitete Lösung mit anderen Gebäudekonzepten positiv oder innerhalb einer Schwankungsbreite von 10% aus, und lässt das Umfeld ein energieautarkes Gebäudekonzept zu, gilt das Ziel als erreicht.

## **1.3 Methodische Vorgehensweise**

Als Erfahrungsobjekt dient ein Einfamilienhaus, im konkreten Fall, das vom Autor geplante Autarkhaus und dessen Umfeld. Das messbare Erkenntnisobjekt ist die technisch-wirtschaftliche Machbarkeit. Insbesondere soll der Einfluss wichtiger Parameter von Batteriespeichern auf die wirtschaftliche Realisierbarkeit untersucht werden.

Zunächst wird ein Überblick über typische Gebäudekonzepte, deren Merkmale und Anforderungen gegeben.

Die energietechnische Planung gibt Auskunft über die rechtlichen Grundlagen bei der energetischen Planung von Gebäuden und die Auswirkung der Genauigkeit bei Verwendung unterschiedlicher Methoden.

Im Kapitel „Hocheffiziente alternative System“ werden auszugsweise typische Heizsysteme auf ihre Vor und Nachteile überprüft.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung leitet über die A-BWL (Allgemeine Betriebswirtschaftslehre) einen Vorschlag zum Wirtschaftlichkeitsvergleich von Gebäudekonzepten ab.

Im Abschnitt „Autarkhauskonzept“ werden einerseits Begrifflichkeiten rund um Autarkie, die Motivation für Autarkie, das Umfeld für autarke Konzepte und andererseits ein Konzept für ein Autarkhaus vorgestellt.

Der letzte Teil behandelt die technisch-wirtschaftliche Realisierbarkeit eines energieautarken Wohnhauses, gefolgt von Schlussfolgerungen aus der gegenständlichen Arbeit.

Die Kosten der baulichen Mehr- oder Weniger-Maßnahmen werden in dieser Betrachtung nicht den Energiekosten gegenübergestellt und keine energetische Amortisation berechnet. Die Kosten-Nutzen-Betrachtung zwischen Baukosten und Energieeinsparung ist ein eigener Aufgabenbereich und es wird vorausgesetzt, dass der potentielle Bauwerber das Erreichen einer bestimmten Energiekennzahl (z.B. Anforderungswert der Bauordnung) mit geringstmöglichem Aufwand anstrebt.

Der einfacheren Lesbarkeit hat der Autor Begriffe erläutert und teils frei definiert. Begriffe werden jeweils an relevanten Stelle erläutert. (Je nachdem, ob ein Begriff über die gesamte Arbeit relevant ist oder ab einem bestimmten Abschnitt benutzt wird.)

Im Folgenden hat der Autor die Begrifflichkeit „Energieerzeugung“ für die Bereitstellung einer nutzbaren Energieform und „Energieverbrauch“ für den Einsatz die Verwendung der Energie verwendet. Physikalisch ist dies nicht korrekt, da Energie weder erzeugt noch verbraucht werden kann. Energie kann lediglich umgewandelt werden. Beispielsweise mittels Photovoltaik Sonnenenergie in Elektrizität oder elektrischer Strom in einem Elektroheizkörper in Wärme. Auch ein Haus verbraucht keine Energie. Die Energie, die durch die Gebäudehülle verloren geht, ist immer noch vorhanden, sie wärmt, kaum messbar, die das Gebäude umgebende Umwelt auf. Auf das Ergebnis haben diese Arbeitsdefinitionen keinen Einfluss, sie dienen einzig der einfachen Verständlichkeit.

## 2 Energieeffizient planen und bauen

### 2.1 Gebäudekonzepte

Die Anzahl an unterschiedlichen Gebäudekonzepten ist schier unüberschaubar. Die Unterscheidungsmerkmale beschränken sich dabei im Wesentlichen auf drei Kriterien:

- Die energetische Qualität der Gebäudehülle, gemessen am HWB (Heizwärmebedarf)
- Das geeignete Heizsystem, gemessen an Ökologie und Gesamtkosten
- Der Grad der Unabhängigkeit

Angesichts der Kombinationsmöglichkeiten von Gebäudequalitäten und Haustechnik, ist die Ermittlung eines wirtschaftlichen bzw. kosteneffizienten Gebäudekonzeptes keine einfache Aufgabe. Um selbige zu vereinfachen, gibt es inzwischen leicht anwendbare Werkzeuge.

Als Beispiele sind nachfolgend das Modell des Energieinstituts Vorarlberg in Kooperation mit Energie Tirol<sup>3</sup> und das Modell von Klimaaktiv<sup>4</sup> angeführt.

---

<sup>3</sup> (Energieinstitut Vorarlberg, 2015)

<sup>4</sup> (Gerhard Moritz, Wilhelm Schlader, & Peter Haftner, 2015, S. 9)

## Welche Heizung passt zu welchem Haus?

Bewegen Sie den Mauszeiger auf eine Zelle und Sie erhalten erklärende Informationen zur Bewertung

	Passivhaus	3-Liter Haus	Niedrig-energiehaus	Energiesparhaus	Baujahr 1990 bis 2000	Baujahr 1970 bis 1990	Baujahr vor 1970
Effizienzklasse gemäß Energieausweis	A++	A	B	B	C	D-G	D-G
Spezifischer Heizwärmebedarf HWB (kWh/m²BGF)	bis 15	bis 15 bis 25	25 bis 40	40 bis 60	60 bis 80	80 bis 100	über 100
Entspricht einem Heizölbedarf für 160 m² beheizte Bruttofläche (ohne Warmwasser) von:	ca. 200 (Liter/a)	ca. 500 (Liter/a)	ca. 800 (Liter/a)	ca. 1000 (Liter/a)	ca. 1500 (Liter/a)	ca. 2000 (Liter/a)	ca. 3000 (Liter/a)
Teilsolare-Raumheizung bis 15% Deckungsgrad	●	●	●	●	●	●	●
Teilsolare-Raumheizung 15% bis 30% Deckungsgrad	●	●	●	●	●	●	●
Wärmepumpe (Erdsonde oder Grundwasser)	●	●	●	●	●	●	●
Wärmepumpe (Luft)	●	●	●	●	●	●	●
Kompaktgerät (Wärmepumpe + Komfortlüftung) mit Wärmeverteilung über Komfortlüftung	●	●	●	●	●	●	●
Kompaktgerät (Wärmepumpe Sole + Komfortlüftung), mit wassergeführtem Verteilnetz	●	●	●	●	●	●	●
Nahwärmeanschluss	●	●	●	●	●	●	●
Scheitholzvergaser (max. 1x täglich einheizen)	●	●	●	●	●	●	●
Pelletszentralheizung	●	●	●	●	●	●	●
Pelletseinzelofen (im Wohnraum) mit wassergeführtem Verteilnetz	●	●	●	●	●	●	●
Hackschnitzelzentralheizung	●	●	●	●	●	●	●
Kachelofenganzhausheizung mit wassergeführtem Verteilnetz	●	●	●	●	●	●	●
nicht zu empfehlen ● bedingt zu empfehlen ● zu empfehlen ●							

Tabelle 1 Welche Heizung passt zu meinem Haus? Energieinstitut Vorarlberg in Kooperation mit Energie Tirol

	Gebäudeklassen und Heizwärmebedarf in kWh pro m² und Jahr				
	A++ / A+ ≤ 15	A ≤ 25	B ≤ 50	C ≤ 100	D - G > 100
Pellets-Wohnraum- / Pellets-Zentralheizung mit Solaranlage	●	●	●	●	●
Kachelofen-Ganzhausheizung mit Solaranlage	●	●	●	●	●
Stückholzvergaser-Zentralheizung mit Solaranlage	●	●	●	●	●
Erdreich-Wärmepumpe mit Erdkollektor und Solaranlage	●	●	●	●	●
Grundwasser- und Erdreich-Wärmepumpe mit Erdwärmesonde und Solaranlage	●	●	●	●	●
Außenluft-Wärmepumpe und Solaranlage	●	●	●	●	●
Kompaktgerät mit Luftheizung und Solaranlage	●	●	●	●	●
Kompaktgerät mit Luftheizung und wassergeführtem System und Solaranlage	●	●	●	●	●

Quelle: AEE INTEC basierend auf Vorarbeiten von Energie Tirol

An Standorten, an denen eine thermische Solaranlage nicht möglich ist, bieten sich zur Warmwasserbereitung außerhalb der Heizperiode Luft-Wasser-Wärmepumpen an. Dabei wird mittels Umgebungswärme und elektrischer Energie Kaltwasser erwärmt.

Eignung: ● sehr gut ● gut ● weniger gut ● nicht geeignet ● nicht verfügbar

Tabelle 2 Bewertungsmatrix Klimaaktiv-Heizsysteme

Der Nachteil dieser Instrumente ist, dass die Aussage nur als grobe Orientierung dient und Technologien wie Stromspeicher, Fotovoltaik oder Elektro-Heiztechnik nicht berücksichtigt werden.



### 2.1.1 Passivhaus

Das Passivhaus wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes 1987 entwickelt. Anfang der 90er Jahre entwickelte Dr. Wolfgang Feist das Passivhaus als Gebäudestandard mit dem Ziel der Optimierung der Wärmebilanz.<sup>5</sup>

Zu den charakteristischen Merkmalen eines Passivhauses zählen die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle, die daraus erforderliche Zwangsbelüftung, die massive Außendämmung und die Reduktion der Verlustflächen wie Fenster. Die Passivhaustechnologie zählt heute zur Standardtechnologie des energiesparenden Bauens.<sup>6</sup>

Gegenüber anderen Gebäudekonzepten verfolgt das Passivhaus einen deterministischen Ansatz und fordert die Erreichung quantifizierbarer Ziele.

Hierzu zählen

- ein maximaler Jahresheizwärmebedarf von 15kWh/m<sup>2</sup> bezogen auf die konditionierte Nettofläche und Begrenzung des Primärenergieeinsatzes von 120kWh/m<sup>2</sup>a,
- strikte Grenzwerte für Hüllflächenbauteile (U-Werte),
- strenge Regeln bzgl. Fensterflächen, Wärmeschutz, und Sonnenschutz,
- Bedingungen an die Lüftungsanlage hinsichtlich Lufttemperatur, Luftqualität und Schallemission,

unter Einhaltung von Kriterien für ein behagliches Innenklima ohne Einsatz einer zusätzlichen Heizungs- und Klimaanlage.<sup>7</sup>

Die Wirtschaftlichkeit zählt zwar nicht zu den primären Zielen eines Passivhauses, dennoch gibt es Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit von Passivhäusern oder Sanierungen des Gebäudebestandes mit Passivhaus-tauglichen Komponenten.

Unter den gegebenen Rahmenbedingungen sind Passivhäuser oder effiziente Sanierungen bei Betrachtung mittels Annuitätenmethode durchaus wirtschaftlich.<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 85)

<sup>6</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 16)

<sup>7</sup> Vgl. (Feist, 2015)

<sup>8</sup> Vgl. (Kah & Feist, 2005) et al.

Die Beispielrechnung des Passivhausinstitutes geht von folgenden Voraussetzungen aus:

Energiebezugspreis:	4,5 €Cent/kWh
Zins:	3,5%
Lebensdauer der Energiesparmaßnahme:	50 Jahre
Betrachtungszeitraum:	20 Jahre

Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :	107,4 kWh/(m²a)	111,4 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :	88%	91%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :	1,3 Cent/kWh	1,6 Cent/kWh
zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :	4,5 Cent/kWh	4,5 Cent/kWh
zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Fernwärme :	5,5 Cent/kWh	5,5 Cent/kWh
zum Vergleich: künftige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :	5,5 Cent/kWh	5,5 Cent/kWh
Reduzierung der CO <sub>2</sub> -Emissionen (bei Öl-Heizung):	33 kg/(m²a)	35 kg/(m²a)

*Tabelle 3 Berechnung Wirtschaftlichkeit Passivhaus*

Besondere Merkmale der Berechnung sind, dass die Lebensdauer der thermischen Maßnahmen auf 50 Jahre angesetzt wird, was in weiterer Folge zu einem deutlichen Restwert am Ende des 20-jährigen Betrachtungszeitraumes führt. Die Kosten für die energetische Maßnahme enthalten dabei nur den Mehrpreis der energetischen Verbesserung. „Ohnehinkosten“ werden nicht berücksichtigt. Damit werden jene Kosten bezeichnet, die beispielsweise bei einer Sanierung für den Erhalt oder die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes – ohne energetische Verbesserung anfallen. Z.B. beim Tausch von 30 Jahre alten Fenstern wären die Kosten für Montage und Rahmen und Glas nach altem Standard die „Ohnehinkosten“.

Unter diesen Voraussetzungen liegen die Kosten für die eingesparte kWh mit 1,3 Cent deutlich unter dem Energiebezugspreis von 4,5 Cent, was demnach als wirtschaftlich gilt.

Die aktuelle Situation zeigt deutlich, dass diese Berechnungen aufgrund der rapide sinkenden Energiepreise ihre Gültigkeit verlieren. Zins, Nutzungsdauer, Energiekosten, Energiepreisentwicklung, Baukosten, Förderungen und lokale Gegebenheiten spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle.

Allein die Veränderung des Zinsniveaus (aktuell negativer EURIBOR<sup>9</sup> und Darlehenszinsen im Wohnbau um die 2%) dürfte eine deutliche Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung haben.

Der Preis für „Heizöl extraleicht“ beträgt am 18.4.2016 € 0,58/l<sup>10</sup>. Dies entspricht bei einem Energieinhalt von 10,9 kWh/l<sup>11</sup> einer Energiepreissteigerung von knapp 12% in 10 Jahren. Dem gegenüber steht die Veränderung des Baupreisindex für den Wohn- und Siedlungsbau von über 31%<sup>12</sup> in 10 Jahren. Defakto wurde Energie im Vergleich zu den Baukosten billiger.

Dies hat deutlich negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeitsprognosen der vergangenen Jahre, bei denen man häufig von Energiepreissteigerungen von 5% ausgegangen ist. Das Sonnenhausinstitut rechnet sogar mit 8%.<sup>13</sup>

Daneben spielen aber auch individuelle Präferenzen wie die Nutzungsdauer eine Rolle. Wenn in 20 Jahren eine Aufstockung für die „junge Generation“ beabsichtigt ist, ist auch die Lebensdauer der energiebedingten Mehrinvestition nicht 50, sondern nur 20 Jahre - mit dementsprechend deutlich höheren Annuitäten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Und letztlich haben natürlich auch die gewünschte Raumtemperatur und die lokalen Klimabedingungen einen wesentlichen Einfluss.

Während ein Passivhaus im Flachland ohne Heizsystem auskommen mag, ist es in alpinen Regionen nicht selten, dass diese Kostenersparnis wegfällt und zusätzlich zur kostspieligen Gebäudehülle die Heiztechnik die Gesamtkosten belastet.

Eine weitere Kritik am Passivhaus handelt vom Verhältnis des Energieverbrauchs eines Passivhauses über seinen Lebenszyklus zum Ressourcenverbrauch für die Herstellung des Passivhauses. Immer häufiger wird beim Bau eines Gebäudes mehr Energie eingesetzt, als das Gebäude je verbrauchen kann. Zudem gesellt sich die Menge an Sondermüll bei der Entsorgung eines Gebäudes an dessen Lebensende.<sup>14</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. ((EMMI), 2014)

<sup>10</sup> Vgl. (Bundesministerium für Wissenschaft, 2016)

<sup>11</sup> Vgl. (Wikipedia, 2016)

<sup>12</sup> Vgl. (Statistik Austria, 2016)

<sup>13</sup> Vgl. (Sonnenhausinstitut e.V. Straubing, 2004-2016)

<sup>14</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger, & Passig, 2013, S. 16)

Hinsichtlich Energieerzeugung oder Unabhängigkeit nennt das Passivhausinstitut keine Kriterien.

### **2.1.2 Aktivhaus**

Die Globalisierung hat auch die Architektur erreicht. Die Internationalisierung der Architektur hat zu einer Nivellierung über die Klimazonen hinweg geführt. Mithilfe von technischen Systemen und unter Energieaufwand müssen die gewünschten Innenraum-Bedingungen geschaffen werden. Das Aktivhaus richtet den Blick vermehrt auf die lokalen klimatischen Bedingungen und die Nutzung von regenerativen Energiequellen, um die optimale Gebäudehülle zu entwickeln.<sup>15</sup>

Das Aktivhaus ist eine Weiterentwicklung bisheriger Gebäudestandards. Im Vordergrund stehen dabei die Minimierung der Energieverluste und des Energieverbrauchs einerseits und die passive Nutzung der Sonnenenergie andererseits. Zusätzlich zählt die aktive Nutzung vor Ort verfügbarer regenerativer Energiequellen zu den Grundpfeilern. Die lokale Vernetzung soll den hohen Speicherbedarf an erneuerbarer Energie ausgleichen.<sup>16</sup>

Das Aktivhaus als Weiterentwicklung des Passivhauses, welches nicht auf Veränderungen von außen reagieren kann, verfügt deshalb über Regelmechanismen und Automatisierung. Ende der 1990er Jahre entstand so in Stuttgart mit dem „R128“ das erste Aktivhaus.<sup>17</sup>

Ein Aktivhaus definiert sich nicht über einen quantitativen Standard, sondern über eine Planungsstrategie. Diese umfasst die Handlungsfelder Standortqualität, Gebäudehülle, Gebäudetechnik und Energieerzeugung mit dem Ziel der optimierten Energiebilanz aus Erzeugung und Verbrauch.<sup>18</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 142)

<sup>16</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 70)

<sup>17</sup> Vgl. Ebenda

<sup>18</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 71f)

Anders als beim Passivhaus gibt es beim Aktivhaus keine Vorgabe, welche Qualität die Gebäudehülle haben muss oder welcher Energiebedarf nicht überschritten werden darf. Auch gibt es keine zwingende Vorgabe, dass ein Aktivhaus in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugen muss, als es verbraucht.<sup>19</sup>

### 2.1.3 Aktivhaus B10 by Werner Sobek

Weiter greift die Definition für den markenrechtlich geschützten Begriff „Aktivhaus“ by Werner Sobek. Über das vorgenannte Ziel hinaus, existiert hier eine quantitative Definition im Sinne eines nachhaltigen Ausgleichs des gesamten Energiebedarfs inkl. Nutzerstrom im Jahreszeitraum und der Verzicht auf fossile und nukleare Energiequellen. Das Ziel dabei ist, im Netzwerk mit anderen weitgehend Autarkie zu erreichen.<sup>20</sup>

Das Architektonische Konzept basiert dabei auf dem „Triple Zero“ Konzept. Zero energy (mehr Energie erzeugen als verbrauchen), zero emissions (keine Emissionen), zero waste (vollständig recyclebar).<sup>21</sup>



Abbildung 2 Aktivhaus B10 - Copyright Zooey Braun, Stuttgart

Das Aktivhaus B10 ist Teil eines Forschungsprojektes, um neue architektonische Konzepte, Integration von Gebäude und Mobilität, Erweiterung des Bilanzierungshorizontes auf die Umgebung und Verkürzung des Bilanzierungszeitraumes, für mehr Unabhängigkeit aufzuzeigen.

Das Konzept des B10 sieht einerseits einen Energieüberschuss von 200% vor, andererseits 200% der gesamten für die Versorgung benötigte Energie selbst zu erzeugen. Obwohl die Überschussmaximierung nicht im Vordergrund steht, sieht

<sup>19</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger , & Passig, 2013, S. 265)

<sup>20</sup> Vgl. (Sobek, 2015, S. 125)

<sup>21</sup> Vgl. (Sobek, 2015, S. 17)

das Konzept die Mitversorgung der näheren Umgebung vor. Das Energieversorgungsnetz soll möglichst wenig belastet werden. Die Eckdaten sind imposant: Holzkonstruktion, vorausschauendes Energiemanagement, PVT-Anlage (Fotovoltaik-Thermie-Anlage) (10kWp elektrisch, 26kWp thermisch), Batteriespeicher mit 11kWh, Wasser-Wasser Wärmepumpe mit 5,9kWp thermisch in Kombination mit Eisspeicher mit 15m<sup>3</sup>, kontrollierte Wohnraumlüftung mit 80% WRG (Wärmerückgewinnungsgrad), Gebäudehülle mit Vakuumdämmung.

Neben einer hochwärmedämmten Gebäudehülle und aufwendiger Haustechnik stellt die intelligente Automatisierung in Kombination mit dem Energiemanagement einen wichtigen Eckpfeiler dar. Dabei wird einerseits der Eigenverbrauch optimiert, andererseits ein intelligentes Speichermanagement für die Batterie betrieben. In Abhängigkeit von Solarertrag, Tarif für den Strombezug oder die Stromlieferung, Ladungsbedarf beim Elektroauto oder vom individuellen, prognostizierten und programmierten Nutzer-Energiebedarf wird der Stromspeicher be- oder entladen. Haustechnik, Energieerzeugung und Energieverbraucher, Elektroauto und Ladestation sind dabei durch Energiemanagement und Smart Meter intelligent miteinander vernetzt.<sup>22</sup>

Die Wirtschaftlichkeit ist kein Kriterium für das Aktivhaus B10.

Die Rückspeisung der im Elektroauto gespeicherten Elektrizität ist nicht beschrieben. Ebenso wird nicht kritisch darauf eingegangen, wie eine Belastung des Stromnetzes vermieden werden soll, wenn andere Gebäude, im speziellen jene in der Umgebung, langfristig ebenso auf das Konzept des B10 setzen.

Die Gebäudegeometrie ist nicht am solaren Bauen orientiert. Die PVT-Anlage ist nicht geeignet. Das führt zu Maximalerträgen im Sommer.

Auch wenn die Definition der selbst erzeugten Energie unscharf ist, (200% Überschuss, oder 200% des Eigenverbrauchs - was 100% Überschuss bedeuten würde) handelt es sich um einen sehr hohen Energieüberschuss, der aufgrund der fehlenden Neigung der Kollektoren vermutlich während des Tages im Sommer auftritt.

---

<sup>22</sup> Vgl. (Sobek, 2015)

#### 2.1.4 Plus-Energie-Haus

„Das Effizienzhaus Plus-Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ( $\sum Q_p < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ( $\sum Q_e < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung (EnEV), wie zum Beispiel die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten.“<sup>23</sup>

Das Plus-Energie-Haus beschreibt demnach kein eigenes Gebäudekonzept, sondern fordert die Einhaltung der Mindestbedingungen laut EnEV (Energieeinsparverordnung) und einen Jahresenergieüberschuss. Je besser die Gebäudehülle, desto einfacher sind die Anforderungen zu erreichen.

#### 2.1.5 Sonnenhaus

Kennzeichnend für das Sonnenhaus sind eine nach Süden ausgerichtete mit 65° geneigte Solaranlage und ein Wasser-Solarspeicher mit 8000 Liter im Zentrum des Hauses. Der solare Deckungsgrad muss mindestens 50% betragen, der Primärenergiebedarf darf 15kWh/m<sup>2</sup>a nicht überschreiten.

Anders als beim Passivhaus steht hier nicht die optimale Gebäudehülle, sondern die Kombination von thermischer Qualität der Hülle mit solarer Energieversorgung und Speicherung im Vordergrund.<sup>24</sup> Begründet wurde der Sonnenhausstandard vom Verein „Sonnenhaus-Institut“ in Straubing. In Österreich setzt sich die „Initiative Sonnenhaus Österreich“ für dieses Konzept ein.

---

<sup>23</sup> (Bundesministerium für Umwelt, 2016)

<sup>24</sup> Vgl. (Haas, 2013, S. 83ff)

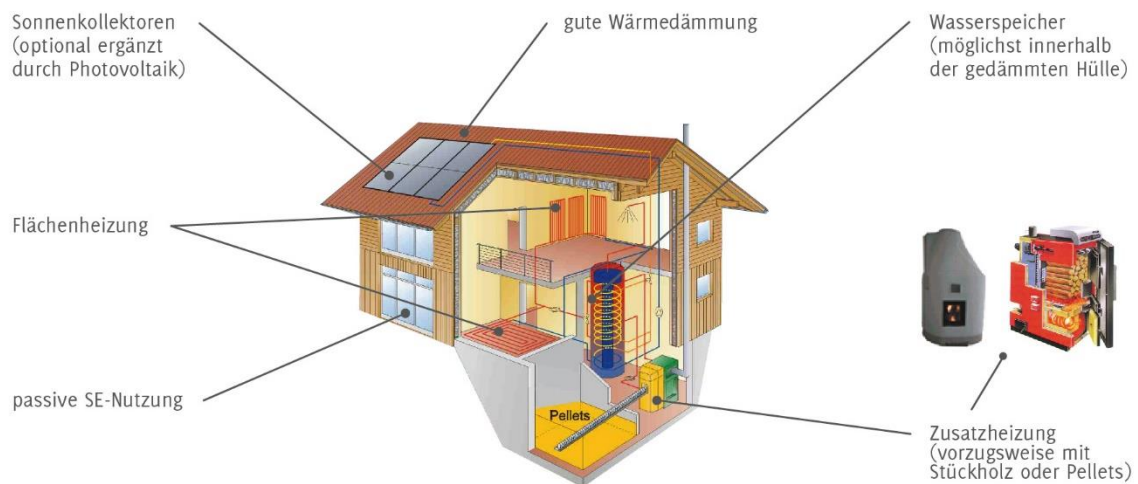


Abbildung 3 Schema Sonnenhaus<sup>25</sup>

Dieses Konzept ist sehr starr hinsichtlich Energieversorgung, da ausschließlich thermische Solarkollektoren zur Energiegewinnung herangezogen werden. Elektrizität kann mit dem Solarhauskonzept nicht hergestellt werden. Allenfalls in Kombination mit einer PV-Anlage wäre dies möglich.

PV-Anlagen sind im Sonnenhaus aber eher unerwünscht. „Es ist also wesentlich sinnvoller an einem zu beheizenden Gebäude den thermischen Kollektoren den Vortritt zu lassen und eine Photovoltaik-Anlage erst dann zu installieren, wenn dafür Fläche (und Geld) übrig bleibt.“<sup>26</sup>

Die Kosten für Sonnenkollektoren werden mit ca. € 700,- bis € 1.000,- je m<sup>2</sup> angegeben. Davon sind zwischen 30 bis 70m<sup>2</sup> und zusätzlich ein Speicher mit 4.000 bis 10.000 Litern erforderlich.<sup>27</sup>

Der Preis für einen 10.000 Liter Speicher mit Glattrohrwärmetauscher, Anschlüssen und Dämmung ohne Montage liegt bei ca. € 10.000,- inkl. MwSt.<sup>28</sup>

Überschlägig sind hier schnell € 40.000,- bis 50.000,- für die solare Energiegewinnung ohne Wärmeverteilung, ohne zusätzliches Heizsystem und ohne Mehrkosten für Statik und Raumbedarf zu veranschlagen.

<sup>25</sup> Vgl. (Sonnenhausinstitut e.V. Straubing, 2004-2016)

<sup>26</sup> (Sonnenhaus - Das Energiekonzept der Zukunft, 2012)

<sup>27</sup> Vgl. Ebenda

<sup>28</sup> Vgl. (Lorenz Behälterbau, 2016)



Die wirtschaftlichsten Sonnenhäuser haben einen Deckungsgrad von 60-75%. Der Rest wird vorwiegend mit einer zusätzlichen Holzheizung bereitgestellt.

### 2.1.6 Aktiv-Plus Haus

Das Aktiv-Pluskonzept wurde im Rahmen der „CEB“ (Clean Energy Building – Fachmesse) in Stuttgart der Fachwelt präsentiert. Das Konzept steht auf vier Säulen:

- Energie (Energieeffizienz, Gebäudehülle, Technik, erneuerbare Energien)
- Lebenszyklus (Ökobilanz, Kosten)
- Vernetzung (Netzintegration, Mobilität)
- Nutzer (Komfort, Information, Architektur-Integration)

Der Unterschied zu Passivhaus oder Sonnenhaus liegt insbesondere in der Bilanzierung der Endenergie. Dies bedeutet, dass die Nutzerenergie mitbilanziert, jedoch unter anderem politisch motivierte Umrechnungsfaktoren auf Primärenergie ausgeschlossen werden. Der Bilanzzeitraum beträgt ein Jahr.

Für größere Gebäude bei denen das Verhältnis der Oberfläche und somit Energiegewinnungsfläche zur BGF (Brutto-Grundfläche) abnimmt, wurde ein „AktivBasic“ Status eingeführt. Dabei dürfen bis zu 30kWh/m<sup>2</sup>a zugeführt werden.<sup>29</sup>

„Der Standard ist technologieoffen, zielwertorientiert, methoden- und produktunabhängig. Er zielt zum einen auf eine dezentrale, verbrauchernahe Versorgung von Einzelgebäuden und Stadtquartieren mit erneuerbaren Energien ab und berücksichtigt zugleich Aspekte der Wohnqualität.“<sup>30</sup>

An die Energiespeicherung und Autarkie werden keine Anforderungen gestellt, jedoch als Möglichkeit genannt.

Der wesentliche Unterschied zwischen einem passiven und aktiven Gebäudekonzept liegt darin, dass ein Passivhaus möglichst wenig Energie verbrauchen möchte und ein Aktivhaus einen bilanziellen Energieüberschuss über das Jahr

---

<sup>29</sup> Vgl. (Siegele, 2015, S. 16ff)

<sup>30</sup> (aktivplus, 2016)

liefert. Der Energieüberschuss wird dabei an das Netz abgegeben. Auch die Elektromobilität stellt einen positiven Ansatz hierzu dar.<sup>31</sup>

Die Frage, was aber mit dem Energieüberschuss im Stromnetz passiert (zeitlich, physikalisch), wird vom Aktivhaus nicht beantwortet. Die Verantwortung trifft dabei den Netzbetreiber. Das Problem der zeitlichen Verschiebung zwischen Erzeugung und Bedarf und die dadurch bedingte Belastung der Netze wird vom Aktivhaus nicht beantwortet.

„Um erfolgreich zu sein, muss der AktivPlus Standard entweder wirtschaftlich oder sexy sein.“<sup>32</sup>

## **2.2 Energietechnische Planung**

Die energetische Planung von Gebäuden erfolgt heute hauptsächlich mittels Energieausweis. Natürlich gibt es auch andere Planungsmethoden - wie PHPP (Passivhaus Projektierungspaket), vorwiegend für die detaillierte Planung von Passivhäusern eingesetzt. Die energetische Qualität ist jedoch stets mit dem Energieausweis nachzuweisen.

Grundlage für die energietechnische Planung sind die OIB RL6 (Österreichisches Institut für Bautechnik Richtlinie 6) und die in ihr zitierten Normen und Regelwerke.

Zu den in energetischer Hinsicht wesentlichen Anforderungen zählen die Berechnungsmethodik und die Anforderungswerte an HWB (Heizwärmebedarf) und EEB (Endenergiebedarf).

Berechnet wird ein Energieausweis mittels validierter Software – in weiterer Folge mit ETU Gebäudeprofi. Dabei ist die Gebäudegeometrie der Hüllfläche, Fenster, Wände, Decken, mit Abmessungen und detailliertem bauphysikalischen Schichtaufbau zu erfassen. Eine weitere Rolle spielen die Gebäudeausrichtung, die Verschattung (zur Berechnung solarer Gewinne), Wärmebrücken, Sonnenschutz, sowie die Kompaktheit. Die Kompaktheit ist ein Maß dafür, wie groß die Gebäude-

---

<sup>31</sup> Vgl. (Siegele, 2015, S. 19)

<sup>32</sup> (Auer T. , 2015, S. 18)

In der Anlagentechnik sind Wärmeerzeuger, Verteilsystem, Energieträger, Wärmeabgabe, Warmwasserbereitung, hydraulische Verschaltung und Zonierung detailliert einzugeben. Dies bildet den Ansatzpunkt nachfolgender Untersuchung.

Der Energieausweis ist „ein gemäß der OIB-Richtlinie 6 erstellter Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG).“<sup>33</sup>

„...Energieausweis ist ein Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes.“<sup>34</sup>



<sup>34</sup> (Tiroler Landesregierung, 2011, S. §2 Abs. 24)

„Die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist entsprechend der OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe Oktober 2011, einschließlich des Leitfadens „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“, Ausgabe Oktober 2011 – Revision Dezember 2011, (Anlage 6 zu § 35 Abs. 1 lit. f) zu berechnen.“<sup>35</sup> Ähnliche Formulierungen finden sich auch in den Landesgesetzen der übrigen Bundesländer.

Die Vorgabe der Randbedingungen ermöglicht es, für jeden Standort die energetische Qualität, bezogen auf ein Referenzklima, zu berechnen. Dadurch gelten österreichweit dieselben bautechnischen Standards und sind, was die Anforderungen betrifft, Gebäude im Gebirge solchen im Flachland gegenüber nicht benachteiligt.

Für die detaillierte Planung wird im Folgenden das Standortklima herangezogen und das Nutzerverhalten individuell angepasst.

### **2.2.2 OIB-RL6**

„Die OIB Richtlinie basiert auf den Beratungsergebnissen, der von der Landesamtsdirektorenkonferenz zur Ausarbeitung eines Vorschlags zur Harmonisierung bautechnischer Vorschriften eingesetzten Länderexperten-Gruppe.“<sup>36</sup>

Die technischen Bauvorschriften legen die technischen Anforderungen fest, um die baurechtlichen Anforderungen zu erfüllen.

Wenngleich das Baurecht den Ländern obliegt, hat man sich im Zuge der Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften auf einen gemeinsamen Weg geeinigt. Das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) erarbeitet im Zuge der Umsetzung der Europäischen Energiestrategie bautechnische Richtlinien, die genau genommen für sich selbst keinen rechtlichen Charakter besitzen, jedoch im Zuge der Verbindlich-Erklärung durch die Ländervorschriften abschließend bindend sind.

Über diese Harmonisierung ist somit in Österreich ein einheitlicher bautechnischer Standard vorgegeben – wenngleich aktuell zwei Versionen umgesetzt werden. In Tirol ist dies beispielsweise die OIB RL6 Ausgabe 2015, in Oberösterreich die Ausgabe 2011.

---

<sup>35</sup> (Tiroler Landesregierung, 2007, S. §4 Abs. 3)

<sup>36</sup> (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015, S. 1-2)

Ungeachtet dessen beschränkt sich diese Abhandlung auf die Umsetzung der OIB RL6 Ausgabe 2015. In einem Schreiben von Herrn Hofrat DI Vogler, vom Amt der Tiroler Landesregierung, wird darauf hingewiesen, dass selbst, wenn ein neueres Regelwerk noch nicht rechtlich für verbindlich erklärt wurde, dieses bereits angewendet werden darf, wenn es den Intentionen des Gesetzes entspricht.<sup>37</sup>

Die OIB RL 6 gilt für konditionierte Gebäude und legt Anforderungen an den Nutzenergiebedarf, Endenergiebedarf, Haushaltsstrombedarf und Betriebsstrombedarf, Primärenergiebedarf, die Kohlendioxidemissionen, den Gesamtenergieeffizienz-Faktor, Konversionsfaktoren, Bauteile, sowie Teile des gebäudetechnischen Systems fest. Zudem werden Referenzgrößen genannt.

Die eigentlichen Berechnungsschritte werden im Leitfaden detailliert beschrieben und es wird auf das erforderliche Normenwerk verwiesen.

„Der Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ ist ein technischer Anhang zur OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“. Er enthält allgemeine Bestimmungen, die Berechnungsmethode für Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf, Kohlendioxidemissionen und Gesamtenergieeffizienz-Faktor, das vereinfachte Verfahren sowie Empfehlungen von Maßnahmen für bestehende Gebäude. Darüber hinaus ist eine Anleitung zur Befüllung des Energieausweises enthalten.“<sup>38</sup>

Bei der Berechnung des Energieausweises wird die Geometrie der Umfassungsbauteile der thermischen Gebäudehülle eines Gebäudes exakt erfasst. Dabei werden die genauen Abmessungen von z.B. Wandflächen, Dachflächen, Fenster, etc. und der bauphysikalische Schichtaufbau in die validierte Software eingegeben. Um nun den Energiebedarf eines Gebäudes zu errechnen, sind einerseits ein Klimamodell mit Außentemperaturen und andererseits ein Nutzermodell mit Innentemperaturen, Strom-, Warmwasserverbrauch und Lüftungsverhalten erforderlich. Diese Randbedingungen sind in der ÖNORM B8110-5 festgelegt.<sup>39</sup>

Zur Berechnung von Energiekennzahlen sind schließlich das Gebäudevolumen und die Energiebezugsfläche erforderlich.

---

<sup>37</sup> Vgl. (Vogler Franz, 2012)

<sup>38</sup> (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011, S. 3)

<sup>39</sup> Vgl. (Austrian Standards Institute, 2011)

### 2.2.3 Energieausweis-Vorlage-Gesetz

Das Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG) regelt die Pflicht zur Vorlage und Aushändigung eines Energieausweises für Bestandsobjekte im Falle von Verkauf und Vermietung.

„...„Energieausweis“ oder „Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz“ den jeweils anwendbaren, der Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl. Nr. L 153 vom 18. Juni 2010, S. 13 dienenden, bundes- oder landesrechtlichen Vorschriften entsprechenden Ausweis, der die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes angibt.“<sup>40</sup>

Das Energieausweisgesetz fordert die Umsetzung der europäischen Gebäude-richtlinie und gleichzeitig die Einhaltung der landesrechtlichen Vorschriften. Der gemeinsame Nenner dieser Definition ist die OIB-Richtlinie 6, nach der Energieausweise auch zu Planungszwecken berechnet werden.

Zu Planungszwecken im Neubau ist jedoch das EAVG nur insofern relevant, als dass der, der energetischen Planung zugrunde liegende, Energieausweis vom Bauherren, Bauträger oder Fertighaushersteller dem Kunden und der Baubehörde zum Nachweis der Einhaltung des energetischen Erfordernis vorgelegt werden muss.

### 2.2.4 Bauphysik

Die OIB RL6 fordert die Vermeidung von schädlicher Kondensation an Bauteiloberflächen und verweist auf die ÖNORM B8110. Demnach ist zur Vermeidung von Schimmel und Bauschäden nicht nur eine weitestgehend wärmebrückenfreie Konstruktion und bauphysikalisch einwandfreie Bauteilaufbauten, sondern auch die ausreichende Belüftung gefordert.<sup>41</sup>

---

<sup>40</sup> (Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012 – EAVG 2012, 2012)

<sup>41</sup> Vgl. (ÖNORM B8110-2 Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, 2003)

Insbesondere in Wohngebäuden, die nicht den ganzen Tag genutzt sind oder wenn die Bewohner das geforderte Lüftungsverhalten nicht einhalten, ist die bauphysikalische Sicherheit nicht mehr gewährleistet. Abhilfe schafft hier eine kontrollierte Wohnraumlüftung, die automatisch die entsprechende Luftqualität aufrechterhält und sich um das Feuchtigkeitsmanagement kümmert.

### **2.2.5 Berechnungsmethoden**

Für die Berechnung von Energieausweisen gibt es in der OIB Richtlinie unterschiedliche Möglichkeiten, wie das detaillierte und vereinfachte Verfahren und es sind zahlreiche Vereinfachungen zulässig. Wenngleich das vereinfachte Verfahren nur im Bestand angewendet werden darf, so erlaubt selbst die detaillierte Berechnungsmethode zahlreiche Vereinfachungen. Pauschalwerte kommen insbesondere für Heizverteilung, Verschattung und Wärmebrücken zum Einsatz.<sup>42</sup> Um zu veranschaulichen, welchen Einfluss unterschiedlich berechnete Energieausweise auf das Ergebnis, die energetische Qualität respektive die Baukosten haben, soll nachfolgendes Beispiel dienen.

### **2.2.6 Energieausweisberechnung mit Vereinfachungen**

Unter „Status Quo“ wird häufig der aktuellste technische Stand verstanden. Im Falle des Energieausweis gibt der „Status Quo“ den tatsächlichen Stand bei der Berechnung von Energieausweisen wider, der zum Teil deutlich von den technischen Möglichkeiten abweicht. Dies nicht zuletzt aufgrund des niedrigen Preisniveaus und einer Befähigung zur Berechnung von Energieausweisen, die ohne weiteren Nachweis zu erlangen ist. Kontrollsysteme sind in Erarbeitung und verfolgen unter anderem auch das Ziel, mehr Qualität in die Berechnung der Energieausweise zu bringen.

Anhand eines Beispiels, soll eine typisch einfache Berechnung eines Energieausweises gezeigt werden.

---

<sup>42</sup> Vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015)

## Beispiel Einfamilienhaus:

### Ansicht Süd - West



Abbildung 5 Kompaktes EFH

GEBÄUDEKENNDATEN					
Brutto-Grundfläche	363,3 m <sup>2</sup>	Klimaregion	Region NF	mittlerer U-Wert	0,32 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Bezugs-Grundfläche	290,6 m <sup>2</sup>	Heiztage	279 d	Bauweise	mittelschwer
Brutto-Volumen	1.074,1 m <sup>3</sup>	Heizgradtage	4548 K·d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	633,5 m <sup>2</sup>	Norm-Außentemperatur	-13,2 °C	Sommertauglichkeit	keine Angabe
Kompaktheit(A/V)	0,59 m <sup>-1</sup>	Soll-Innentemperatur	20,0 °C	LEK <sub>T</sub> -Wert	25,65
charakteristische Länge	1,70 m				

Abbildung 6 Gebäudedaten Standardberechnung

Außenwand 16cm EPS WLG 038

Anforderungswert HWB<sub>RK</sub>: 44,3 kWh/m<sup>2</sup>a

Geplanter Wert: HWB<sub>RK</sub>: 44,0 kWh/m<sup>2</sup>a

Die Netto-Außenwandfläche beträgt 240m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich somit ein Materialbedarf von 240m<sup>2</sup> EPS-F 16cm.

Die reinen Materialkosten belaufen sich auf € 9.139,- excl. MwSt.



m <sup>2</sup>	Preis/m <sup>2</sup>	Gesamt
240	38,08 €	9 139,20 €

Tabelle 4 Berechnung Dämmstoffkosten; Vereinfachte Berechnung<sup>43</sup>


Bauteil:	Außenwand					Fläche / Ausrichtung :		29,21 m²	SW	
	Außenwand							54,48 m²	SW	
	Außenwand							51,28 m²	NW	
	Außenwand							54,93 m²	NO	
	Außenwand							49,63 m²	SO	
	Nr.	Baustoff		Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand			
				cm	W/(mK)	kg/m³	m²K/W			
	1	Silikatputz (Katalog "baubook (6box)", Kennung: 2142884364)		1,00	0,800	1800,0	0,01			
	2	Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³ (Katalog "baubook (6box)", Kennung: 2142884343)		25,00	0,380	1200,0	0,66			
	3	Polystyrol EPS 20 (Katalog "baubook (6box)", Kennung: 2142884259)		18,00	0,038	20,0	4,74			
	4	Silikatputz (Katalog "baubook (6box)", Kennung: 2142884364)		1,00	0,800	1800,0	0,01			
							<b>R<sub>λ</sub> = 5,42</b>			
	Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust		wirksame Wärmespeicherfähigkeit		R <sub>si</sub> = 0,13		
	239,54 m²		37,8 %	339,6 kg/m²		C <sub>w,B</sub> = 11440 kJ/K m <sub>w,B</sub> = 10930 kg		R <sub>se</sub> = 0,04		
									<b>U - Wert</b>	
									<b>0,18 W/m²K</b>	

Abbildung 7 Berechnung Außenwand bei vereinfachter Berechnung

Der Preis je kWh HWB beträgt:

Preis/m <sup>2</sup>	38,08 €	
HWB	44,3 kWh/m <sup>2</sup> a	
<b>P<sub>HWB</sub></b>	<b>0,860 €/kWh(HWB)</b>	

Tabelle 5 Preis je kWh; Vereinfachte Berechnung

## 2.2.7 Energieausweisberechnung detailliert

Anhand des vorhergehenden Beispiels soll die Energiekennzahl und der Materialbedarf bei detaillierter umfassender Planung gezeigt werden.

Die detaillierte umfassende Planung berücksichtigt im Gegensatz zur einfachen Planung:

- Detaillierte Berechnung der Wärmebrücken
- Detaillierte Berücksichtigung der Verschattungs-/Besonnungssituation
- Auswahl der Dämmstärken hinsichtlich Kosten/Nutzen entsprechend der Energieverluste der einzelnen Bauteile – optimales Dämmstärken- und Dämmstoff-Ensemble

<sup>43</sup> Der m<sup>2</sup>-Preis stammt aus eigener Baukostentabelle

- Einflussnahme, bei der Geometrie/Architektur

Außenwand 12cm EPS WLK 038

Anforderungswert  $HWB_{RK}$ : 44,3 kWh/m<sup>2</sup>a

Geplanter Wert:  $HWB_{RK}$ : 44,3 kWh/m<sup>2</sup>a


Bauteil:	Außenwand					Fläche / Ausrichtung :		29,21 m²	SW
	Außenwand							54,48 m²	SW
	Außenwand							51,28 m²	NW
	Außenwand							54,93 m²	NO
	Außenwand							49,63 m²	SO
	Nr.	Baustoff		Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand		
				cm	W/(mK)	kg/m³	m²KW		
	1	Silikatputz (Katalog "baubook (dbox)", Kennung: 2142684364)		1,00	0,800	1800,0	0,01		
	2	Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m³ (Katalog "baubook (dbox)", Kennung: 2142684343)		25,00	0,380	1200,0	0,66		
	3	Polystyrol EPS 20 (Katalog "baubook (dbox)", Kennung: 2142684259)		12,00	0,038	20,0	3,16		
	4	Silikatputz (Katalog "baubook (dbox)", Kennung: 2142684364)		1,00	0,800	1800,0	0,01		
								R <sub>A</sub> = 3,84	
	Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust	wirksame Wärmespeicherfähigkeit		R <sub>si</sub> = 0,13		
	239,54 m²		37,8 %	338,4 kg/m²	59,72 W/K	28,6 %	C <sub>w,B</sub> = 11477 kJ/K m <sub>w,B</sub> = 10965 kg	R <sub>se</sub> = 0,04	
								U - Wert 0,25 W/m²K	

Abbildung 8 Berechnung Außenwand optimiert

Die Nettowandfläche beträgt 240m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich somit ein Materialbedarf von 240m<sup>2</sup> EPS-F 12cm.

Die reinen Materialkosten belaufen sich auf €6.854,- excl. MwSt.

m <sup>2</sup>	Preis/m <sup>2</sup>	Gesamt
240	28,56 €	6 854,40 €

Tabelle 6 Berechnung Dämmstoffkosten optimiert

Die Materialkosten sind deutlich geringer, obwohl der HWB und somit die Energiekennzahl gleich bleibt.

	m <sup>2</sup>	Preis/m <sup>2</sup>	Gesamt
vereinfacht	240	38,08 €	9 139,20 €
optimiert	240	28,56 €	6 854,40 €
Preisvorteil			<b>2 284,80 €</b>
relativer Preisvorteil			<b>25%</b>

Tabelle 7 Preisdifferenz

Der Preis je kWh HWB beträgt:

Preis/m <sup>2</sup>	28,56	€	
HWB	44,3	kWh/m <sup>2</sup> a	
<b>P<sub>HWB</sub>=</b>	<b>0,645</b>	<b>€/kWh(HWB)</b>	

Abbildung 9 Preis je kWh optimiert

Das einfache Berechnungsbeispiel zeigt, dass ein detailliertes Vorgehen bei der Planung energieeffizienter Gebäude deutliche Kosteneinsparung mit sich bringen kann.

### 2.2.8 Vorteil detaillierter Planung

Der Preisvorteil beim Materialeinsatz für die Außenwand liegt bei 25%.

Durch die einfachere Handhabung der dünneren Dämmstoffplatten dürfte sich ein Teil des Kostenvorteils auch auf die Verarbeitung auswirken.

Geht man davon aus, dass sich die Materialeinsparung bei sämtlichen Bauteilen der Gebäudehülle ähnlich verhält, lässt sich bei Gesamtkosten von z.B.

€ 50.000,-, leicht eine Kosteneinsparung von € 12.500,- (exkl. MwSt.) erzielen.

Bei Gesamtbaukosten von z.B. € 250.000,- für ein EFH (Einfamilienhaus) ist eine Einsparung von 5% realisierbar.

Für ein Bauunternehmen mit zehn Einfamilienhäusern im Jahr sind so theoretisch bis zu € 120.000,- (ohne Berücksichtigung von Preisvorteilen beim Einkauf) an Kosteneinsparung realisierbar.

Die vollständige detaillierte Planung der thermischen Gebäudehülle ergibt aus wirtschaftlicher Sicht, sowohl für den einzelnen Bauherren, als auch für Bauunternehmen Sinn.

Anders formuliert, zeigt ein vereinfacht berechnetes Gebäude einen deutlich höheren Energiebedarf und höhere Heizlast, als es tatsächlich hat. Dies wiederum kann zur falschen Dimensionierung des energietechnischen Systems und somit zu Mehrkosten führen.

## 2.3 Hocheffiziente alternative Systeme

Die OIB RL 6 sieht ein Mindestmaß an erneuerbaren Energiequellen im Neubau vor. Hierzu zählen: Energie aus erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen, d.h. Wind, Sonne, aerothermische, geothermische, hydrothermische Energie, Meeresenergie, Wasserkraft, Biomasse, Deponiegas, Klärgas, Biogas, Abwärme, Ab-lauge, Klärschlamm und Tiermehl.<sup>44</sup>

Diese Anforderung gilt jedenfalls erfüllt, wenn mindestens 50% des Wärmebe-darfs für Warmwasser und Raumheizung aus

- Biomasse
- Wärmepumpe
- Fernwärme auf Basis erneuerbarer Energieträger
- Fernwärme auf Basis hocheffizienter KWK (Kraft-Wärme-Kopplung)

unter Einhaltung des maximal zulässigen Heizenergiebedarf gedeckt wird. Aus diesen Anforderungen wird deutlich, dass die Gebäudehülle eine wichtige Rolle spielt. Je besser ein Gebäude gedämmt wird bzw. die energetische Anforderung den maximal zulässigen Heizenergiebedarf unterschreitet, desto flexibler wird man in der Wahl des Energieträgers und folglich des Heizsystems.

Alternativ gilt die Anforderung als erfüllt, wenn ungeachtet des eingesetzten Heizsystems, 10% der Nettoendenergie an Haushaltsstrom bzw. Warmwasser-energiebedarf durch Solarenergie (PV oder Thermie) vor Ort erzeugt werden, 10% durch Wärmerückgewinnungsmaßnahmen oder wenn die Verbesserung des FGEE (Gesamt-Energieeffizienz-Faktor) oder der zulässigen Endenergie um 5% durch beliebige Kombination Solarthermie, Photovoltaik, Wärmerückgewinnung oder Effizienzsteigerungsmaßnahmen eingespart werden.

Über die Anforderung an erneuerbare Energieträger hinaus, sieht die OIB RL6 bei Neubau und größerer Renovierung hocheffiziente alternative Systeme vor. Ist ein solches System nicht von vornherein geplant, ist jedenfalls die technische, ökologische und wirtschaftliche Realisierbarkeit des Einsatzes von hocheffizien-ten alternativen Systemen, sofern verfügbar, in Betracht zu ziehen, zu berück-sichtigen und zu dokumentieren.

---

<sup>44</sup> Vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015, S. 5)

Hocheffiziente alternative Energiesysteme sind jedenfalls:

- (a) dezentrale Energieversorgungssysteme auf der Grundlage von Energie aus erneuerbaren Quellen,
- (b) Kraft-Wärme-Kopplung,
- (c) Fern-/Nahwärme oder Fern-/Nahkälte, insbesondere, wenn sie ganz oder teilweise auf Energie aus erneuerbaren Quellen beruht oder aus hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stammt,
- (d) Wärmepumpen.<sup>45</sup>

Bei Einsatz eines hocheffizienten alternativen Systems gilt die Anforderung des Mindestmaßes an erneuerbaren Energieträgern als erfüllt. Wird kein derartiges System eingesetzt, sind neben der Dokumentation der Realisierbarkeit durch Kombination von Maßnahmen die Anforderung an erneuerbare Energiequellen zu erfüllen.

In der Theorie ergeben sich daraus unzählige Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Komplexität. Drei aus dem Beratungsalltag des Autors typische Systeme und eine Kombination aus Fotovoltaik-Anlage mit Stromspeicher sollen folglich näher beschrieben werden.

Wie eingangs erwähnt, gilt der Energieausweis als anerkanntes und ausschließlich gültiges Instrument zur Planung der energetischen Qualität von Gebäuden. Der berechnete HWB und die sich ergebende Heizlast korrelieren direkt mit der thermischen Qualität der Gebäudehülle. Anders ausgedrückt: Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto niedriger wird der Energiebedarf und die Heizlast sein. Daraus folgert sich, dass zur Beurteilung unterschiedlicher Heizsysteme ein energetisches Modell eines Gebäudes mit den Kenngrößen EEB zur Berechnung der Energiekosten und Umweltwirkung sowie Heizlast zur Dimensionierung und Preisbestimmung der Heizanlage erforderlich ist.

Aus diesem Grunde wird an dieser Stelle ein Gebäude mit gegebenen Parametern definiert, um vergleichbare Größen der unterschiedlichen Heizsysteme zu berechnen.

---

<sup>45</sup> Vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015, S. 5)

Beispielhaus:

BGF= 180m<sup>2</sup>

HWB= 13,7kWh/m<sup>2</sup>a

Heizlast= 2,6kW

Alle Größen sind auf das Standortklima bezogen. Die baurechtlichen Anforderungen beziehen sich auf das Referenzklima. Für die tatsächliche Ausführung und Dimensionierung der Anlagentechnik muss das Klimamodell des jeweiligen Standortes herangezogen werden.

Bei dem berechneten Gebäude handelt es sich um eine wärmebrückenfreie Konstruktion mit kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung und hochwärmegedämmter Gebäudehülle. Der Gebäudestandard entspricht einem Niedrigstenergie-Haus im Bereich Passivhaus.

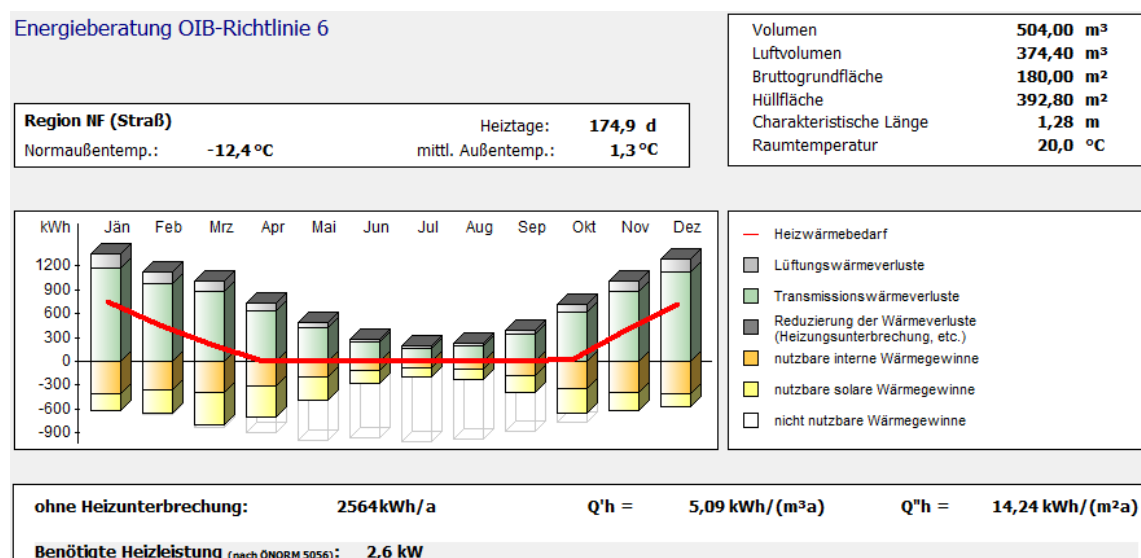


Abbildung 10 Berechnungsergebnisse Beispielgebäude, aus Gebäudeprofi 3D

Brennstoff	Heizwert	Einheit	Grundpreis	Arbeitspreis
-	kWh/Einheit	-	€/a	Cent/kWh
Heizöl EL	10,08	L	0,00	5,92
Erdgas E	10,42	m³	181,83	6,26
Erdgas LL	8,87	m³	181,83	6,28
Stadtgas	4,54	m³	180,00	3,80
Flüssiggas	12,8	kg	0,00	8,84
Steinkohle	8,71	kg	0,00	3,20
Koks	7,71	kg	0,00	3,20
Braunkohle	5,42	kg	0,00	4,80
Stückholz	1900	rm	0,00	3,00
Holzhackschnitzel	850	Scbm	0,00	3,30
Holzpellets	4,9	kg	0,00	4,20
> Strom-Mix	1	kWh	50,00	15,00
Strom (Sondertarif)	1	kWh	50,00	13,10
Strom (Nachtstrom)	1	kWh	50,00	10,00
Kraft-Wärme-Kopplu	1	kWh	150,00	6,40
Kraft-Wärme-Kopplu	1	kWh	150,00	6,40
Heizwerk, fossil	1	kWh	150,00	6,40
Heizwerk, regenerat	1	kWh	150,00	6,40
Sonnen-Energie	1	kWh	0,00	0,00

Tabelle 8 Preise unterschiedlicher Energieträger, aus Gebäudeprofi 3D

### 2.3.1 Beispiel 1: Gas-Brennwertkessel in Kombination mit Warmwasser-Solar

Vorausgeschickt wird, dass es sich hierbei selbstredend nicht um ein hocheffizientes alternatives System handelt. Dennoch ist diese Kombination lt. OIB zulässig und zählt zudem zu den Favoriten bei Häuslebauern.<sup>46</sup> Zu den Vorteilen zählen:

- niedrige Investitionskosten
- geringer Platzbedarf
- gute Regelbarkeit / modulierende Betriebsweise
- und damit verbunden, hohe Effizienz.

<sup>46</sup> Eigener Erfahrungswert aus Energieberatung

Für das Beispielgebäude ergibt sich:

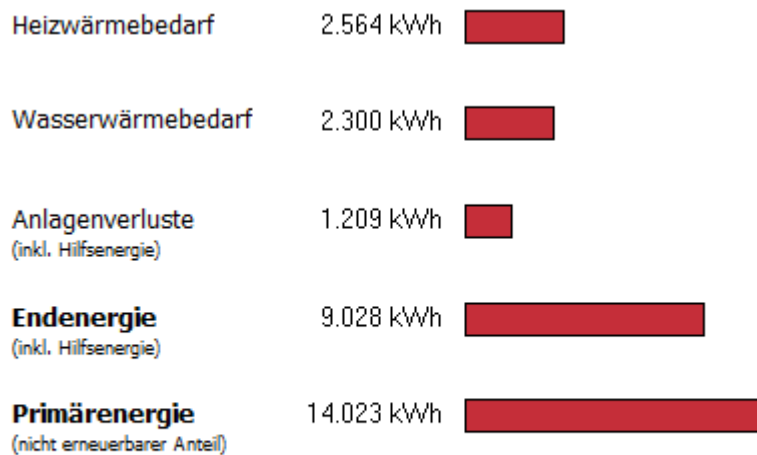


Abbildung 11 Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub> Emission Gastherme Solar, Beispiel 1; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

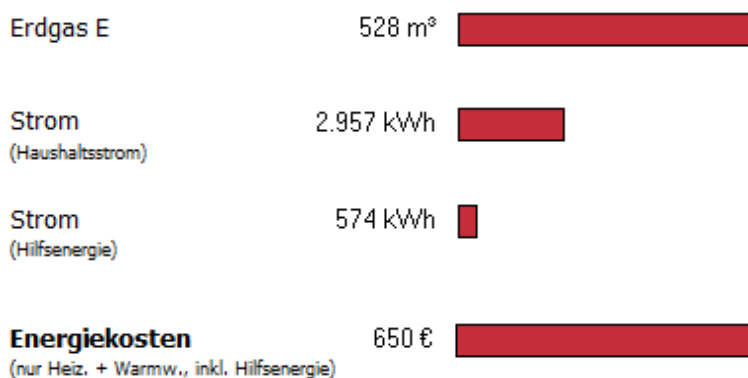


Abbildung 12 Energiekosten Beispiel 1 Gastherme mit Solar; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

### 2.3.2 Beispiel 2: Wärmepumpe

Der besondere Vorteil der Wärmepumpe liegt darin, dass die Energie der Umwelt (z.B. Luft oder Wasser) entzogen wird. Diese Energie ist in der Regel kostenlos und in nahezu unbegrenztem Maße verfügbar. Dieser Umwelt-Energieanteil beträgt je nach Bauart, Temperatur der Wärmesenke, Temperatur der Wärmequelle und Betriebsart ein Vielfaches der eingesetzten Energie – meist in Form von elektrischer Energie.



Die Kenngröße hierfür ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie gibt an, wie viele Anteile Gesamtenergie aus einem Teil Antriebsenergie erzeugt werden, bezogen auf einen Jahresbetriebszyklus.

$$JAZ = \frac{\int_{t1}^{t2} \dot{Q}_{\text{Heiz}} dt}{\int_{t1}^{t2} P_{\text{el}} dt}$$

Abbildung 13 Berechnung JAZ

Für gegenständliches Beispiel wird eine Luftwärmepumpe mit einer typischen JAZ von 3 gewählt.

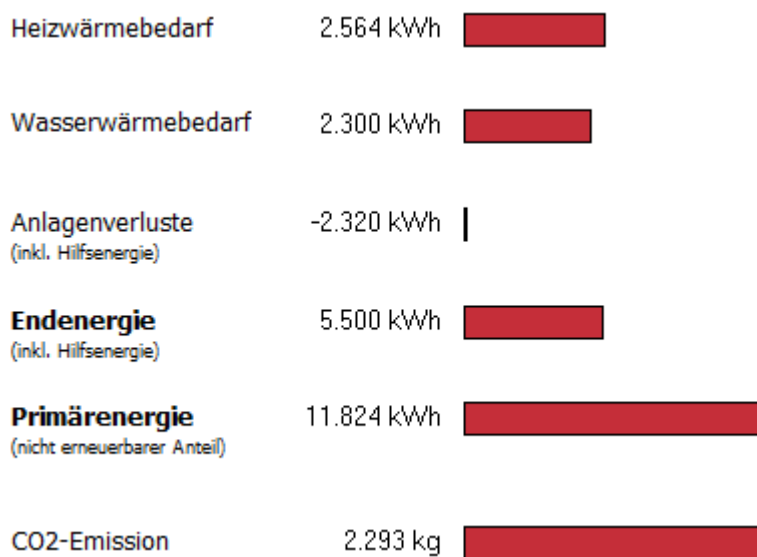


Abbildung 14 Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub> Emission Beispiel 2 Wärmepumpe; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

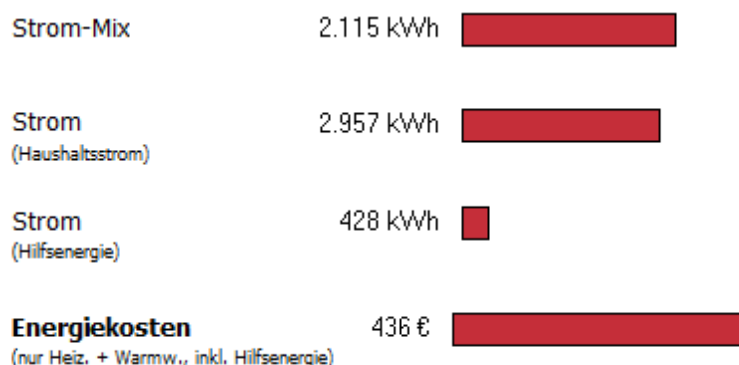


Abbildung 15 Energiekosten Beispiel 2 Wärmepumpe; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

### 2.3.3 Beispiel 3: Pelletkessel

Der Pelletkessel stellt die komfortable Form eines Biomassekessels dar. In der Regel sind diese Kessel mit automatischen Fördereinrichtungen ausgestattet und bieten ähnlichen Komfort wie andere Heizsysteme. Der Nachteil liegt am zusätzlich benötigten Platzbedarf für den Pelletspeicher und den hohen Wartungskosten an mechanischen Teilen und Abgasanlage.

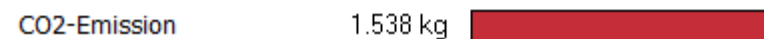
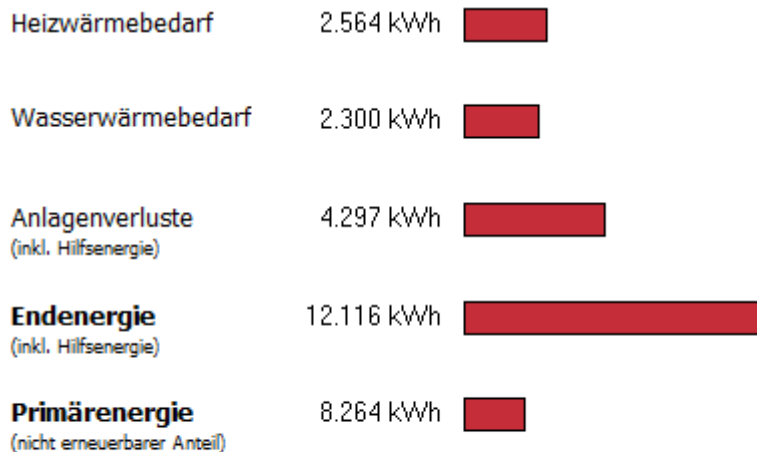


Abbildung 16 Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub> Emission Beispiel 3 Pelletkessel; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

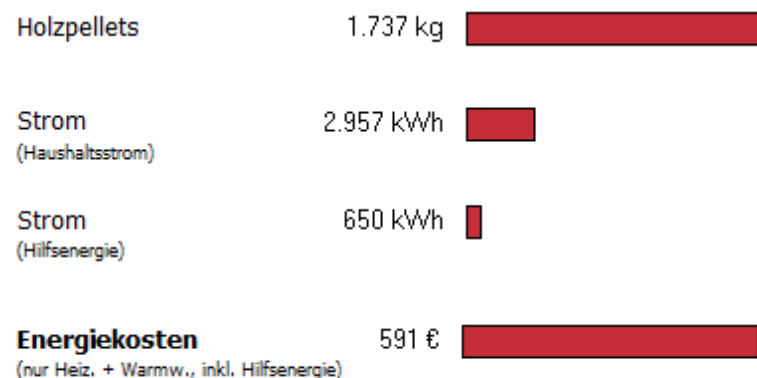


Abbildung 17 Energiekosten Beispiel 3 Pelletkessel; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

### 2.3.4 Beispiel 4: Strom-Direktheizung in Kombination mit Fotovoltaik-Anlage

Auch wenn die „Strom-Direkt-Heizung“ nicht zu den hocheffizienten alternativen Systemen zählt und bis vor kurzem noch verboten war<sup>47</sup>, so ist im Zuge der neuen OIB Richtlinie<sup>48</sup> dieses Verbot aufgehoben und die Elektroheizung als eine von mehreren Referenzausstattungen verfügbar.

Der Vorteil dieser Kombination liegt darin, dass dieses System unabhängig von außen betrieben werden kann. Eine der Charakteristika der Elektroheizung liegt in der sehr guten Regelbarkeit, praktisch ohne Verzögerung, gemessen an wassergeführten Heizsystemen. Die Elektroheizung selbst ist in der Anschaffung sehr günstig. Mit PV und Speicher liegt der Preis im oberen Segment von wassergeführten Heizsystemen, ohne PV darunter.

Ein weiterer Vorteil ist der selbst produzierte Strom. Strom zählt zu den hochwertigsten Energieformen und lässt sich im Fall des Überschusses auch unkompliziert verkaufen.

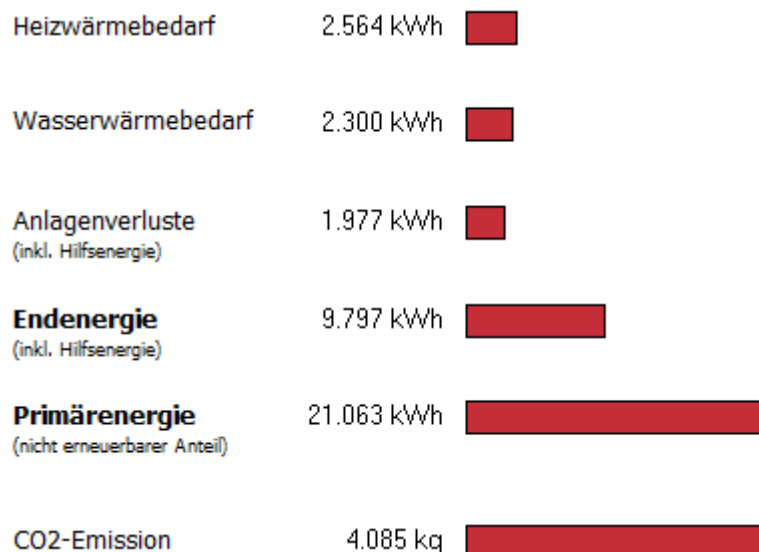


Abbildung 18 Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub> Emission Beispiel 4 Stromdirektheizung mit PV; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10



<sup>47</sup> Vgl. (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2011)

<sup>48</sup> Vgl. (OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2015)

## Energiekosten

(nur Heiz. + Warmw., inkl. Hilfsenergie)

1.098 €



Abbildung 19 Energiekosten Beispiel 4 Stromdirektheizung mit PV; Berechnet mit ETU Gebäudeprofi Duo 3D 4.4.10

## 2.4 Wirtschaftlichkeit

### 2.4.1 Widerspruch Wirtschaftlichkeit - Wohnen

Die Begriffe des Bauens und Wohnens gehen auf indogermanische Wurzeln zurück und bedeuten „werden“, „entstehen“, „sein“, „zufrieden sein“, „lieben“. Sie beschreiben demnach das menschliche Grundbedürfnis nach Wohnen.<sup>49</sup>

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit eines Grundbedürfnisses mag aus ethischer Sicht unangebracht sein. Auch scheint die Frage nach der Wirtschaftlichkeit für eine Sache für die es, gemessen am europäischen Wertemaßstab keine Alternative gibt, überflüssig zu sein.

Selbst die OIB-Richtlinie fordert Wirtschaftlichkeit beim Neubau eines Gebäudes nur insofern ein, dass der Einsatz eines hocheffizienten alternativen Systems auf seine Wirtschaftlichkeit hin geprüft werden muss. Nur wenn dieser gegenüber einem konventionellen System negativ ausfiele, müsste kein hocheffizientes alternatives System eingesetzt werden.<sup>50</sup>

Gerade der Bau eines privaten Wohnhauses ist aber nicht nur eine wirtschaftliche Angelegenheit, sondern in großem Maße eine emotionale. Entscheidungen werden dabei nicht nur auf Grundlage von wissenschaftlich fundierten Kennzahlen

---

<sup>49</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger, & Passig, 2013, S. 58)

<sup>50</sup> Vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015)

und Berechnungsergebnissen gefällt, sondern man verlässt sich gerne auch auf das gute Gefühl und ist bereit, dafür auch mehr auszugeben.



Abbildung 20 PVA-Speicherkongress, Ernst Haigermoser über emotionale Amortisation

Beim PV-Speicherkongress wurde der Begriff der emotionalen Amortisation geprägt und zielte auf das Vorhandensein einer Notstromfunktion bei einem Stromspeicher ab.<sup>51</sup> Die Befriedigung einer Emotion solle dabei die Mehrkosten einer Speicherlösung kompensieren.

## 2.4.2 Die Wirtschaftlichkeit im Allgemeinen

Die Betriebswirtschaftslehre im Allgemeinen beschäftigt sich mit der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse auf Güterebene. Da Güter einerseits von Natur aus knapp, andererseits die menschlichen Bedürfnisse unbegrenzt sind, entsteht ein Spannungsfeld, das es optimal zu lösen gilt. Das daraus erforderliche wirtschaftliche Handeln folgt dem Vernunftsprinzip. Auf die Wirtschaft übertragen sprechen wir vom ökonomischen Prinzip, was bedeutet, ein bestimmtes Ziel mit möglichst geringen Mitteln zu erreichen.<sup>52</sup>

Die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre formuliert einerseits Mindestbedingungen, andererseits Ziele für die langfristige unternehmerische Existenz. Als Erfolgsmaßstäbe unternehmerischen Handelns werden dabei die Kennzahlen „Produktivität“, „Wirtschaftlichkeit“, „Gewinn“ und „Rentabilität“ genannt.<sup>53</sup>

Das ökonomische Prinzip als allgemeine Maxime menschlichen Handelns, nennt das Minimalprinzip und das Maximalprinzip. Dabei geht es darum, mit gegebenen Input maximalen Output oder den gegebenen Output mit minimalen Input zu erreichen. Enthält die Input-Output-Relation nur Mengengrößen, spricht man von

<sup>51</sup> Vgl. (Haigermoser Ernst, Amt der Salzburger Landesregierung, 2015)

<sup>52</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 1)

<sup>53</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 42f)

Produktivität.<sup>54</sup>

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Faktoreinsatz}}^{55}$$

Werden Output und Input mit Faktorpreisen bewertet, erhält man den Ertrag bzw. den Aufwand. Die Produktivitätskennzahl wird nun zur Wirtschaftlichkeit.<sup>56</sup>

Erfolgsmaßstab		Erfolgsdefinition	
Produktivität	=	$\frac{\text{mengenmäßiger Output}}{\text{mengenmäßiger Input}}$	
Wirtschaftlichkeit	=	$\frac{\text{wertmäßiger Output}}{\text{wertmäßiger Input}}$	= $\frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$
Gewinn	=	Ertrag – Aufwand	
Rentabilität	=	$\frac{\text{Erfolgsgro\ss e}}{\text{Basisgro\ss e}}$	z.B. $\frac{\text{Gewinn}}{\text{Eigenkapital}}$

Abbildung 21 Kennzahlen Wöhe, 2013, S. 43

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Kosten}}$$

Insbesondere, wenn wie oben erwähnt, aufgrund mehrerer oder unterschiedlicher Produktionsfaktoren keine sinnvollen Produktivitätskennzahlen gebildet werden können, scheint die Wirtschaftlichkeit ein geeignetes Instrument zur Bewertung von Sachverhalten zu sein.

Allerdings ist zu beachten, dass die Wirtschaftlichkeit nicht uneingeschränkt angewendet werden kann, da sie von Wertgrößen, wie Inflation oder Tarifabschlüssen, die vom Unternehmen nicht beeinflussbar sind, abhängt.<sup>57</sup>

<sup>54</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 1)

<sup>55</sup> Vgl. (Ziegenbein, 2002, S. 87f)

<sup>56</sup> Vgl. Ebenda

<sup>57</sup> Vgl. Ebenda

Eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit wird erreicht durch:<sup>58</sup>

- Verringerte Faktoreinsatzmenge (durch technische Verbesserungen)
- Senkung der Faktorpreise (durch harte Preisverhandlungen mit Zulieferer)
- Erhöhung der Absatzpreise

Per Definition beschreibt die Wirtschaftlichkeit den Erlös eines Gutes in Bezug auf die Kosten, die zur Herstellung des Gutes verursacht werden. Die Wirtschaftlichkeit ist also eine Kennzahl, die ein Verhältnis von Geldmengen beschreibt. Die Produktivität hingegen bezeichnet das Verhältnis eines mengenmäßigen Outputs zum mengenmäßigen Input.

Die Rentabilität setzt eine Erfolgsgröße in Bezug zu einer Basisgröße.<sup>59</sup>

Die Erfolgsgrößen können sein:

- Gewinn
- Jahresüberschuss
- Ordentliches Betriebsergebnis
- Cashflow
- Bruttogewinn (EBIT)

Die Basisgröße kann eine Kapital- oder Vermögensgröße sein.

- Eigenkapital
- Gesamtkapital
- Umsatz
- Betriebsnotwendiges Vermögen<sup>60</sup>

Hier wird transparent wie unterschiedlich Rentabilität definiert werden kann.

Aussageprobleme treten insbesondere durch die unterschiedlichen Erfolgs- und Basisgrößen auf, die zur Berechnung einer Rentabilitätskennzahl herangezogen werden.<sup>61</sup>

---

<sup>58</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 44)

<sup>59</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 44)

<sup>60</sup> Vgl. (Wöhe & Döring, 2013, S. 908)

<sup>61</sup> Vgl. (Auer U.-P. D., 2004, S. 42f)

## Wichtige Kennzahlen zur Rentabilitätsanalyse

<b>Eigenkapitalrentabilität</b>	=	$\frac{\text{Gewinn}}{\text{EK}}$	• 100
<b>Gesamtkapitalrentabilität</b>	=	$\frac{\text{Gewinn} + \text{FKZ}}{\text{EK} + \text{FK}}$	• 100
<b>Umsatzrentabilität</b>	=	$\frac{\text{Bruttogewinn}}{\text{Umsatz}}$	• 100
<b>Return on Investment (ROI)</b>	=	$\frac{\text{Bruttogewinn}}{\text{Gesamtkapital}}$	• 100
<b>Gewinn je Aktie</b>	=	$\frac{\text{Gewinn}}{\text{Anzahl ausgegebener Aktien}}$	
<b>Price-Earnings-Ratio (KGV)</b>	=	$\frac{\text{Preis je Aktie}}{\text{Gewinn je Aktie}}$	
EK = Eigenkapital FK = Fremdkapital FKZ = Fremdkapitalzinsen			

Abbildung 22 Kennzahlen (Wöhe & Döring, 2013, S. 908)

Die Eigenkapitalrentabilität gibt die Verzinsung des Eigenkapitals an. Vergleicht man diese mit dem marktüblichen Zins für langfristige Anleihen, muss die Eigenkapitalverzinsung aufgrund des unternehmerischen Risikos, das im allgemeinen höher eingestuft wird als jenes von (in der Regel) sicheren Anleihen, jedenfalls (deutlich) höher sein als der marktübliche Zins.<sup>62</sup>

### 2.4.3 Die Wirtschaftlichkeit bei Gebäudekonzepten

Einerseits handelt es sich beim Bau eines Einfamilienhauses nicht zwingend um eine Investition, die auf möglichst hohe Rendite abzielt, andererseits folgt ein solches Vorhaben nicht ausschließlich nach dem Vernunftsprinzip. Die Emotion spielt dabei eine wichtige Rolle.

Einen wirtschaftlichen Vergleich könnte man allenfalls darüber anstellen, ob es wirtschaftlicher ist, eine Wohnung zu mieten, eine Eigentumswohnung zu erwerben oder ein Haus zu bauen. Dies soll aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Ein Vergleich, wie wirtschaftlich so ein Vorhaben gemessen an einer anderen Investition ist, entfällt in der Regel für den Häuslebauer ohnehin und dürfte letztlich wohl eher für einen Investor interessant sein. Im Allgemeinen geht es aber nicht

<sup>62</sup> Vgl. (Auer U.-P. D., 2004, S. 88)



darum, möglichst hohe Erträge zu erzielen, wenngleich man Einsparungen bei einem Gebäudekonzept im Vergleich zu einem anderen Gebäudekonzept rechnerisch durchaus als Gewinn oder Rentabilität der Differenzinvestition darstellen könnte. Die Wirtschaftlichkeit auf Basis von Renditen, Gewinn oder Produktivität scheint daher nicht ein geeignetes Instrument für die Beurteilung eines Gebäudekonzeptes zu sein.

Aus der Definition der Wirtschaftlichkeit ist aber ersichtlich, dass sich Wirtschaftlichkeit auch über Kosten definiert. Für den privaten Bauherren geht es dabei vielmehr darum, ein vorgegebenes Ziel mit geringstmöglichen Aufwand zu erreichen. Als Ziel dient in energetischer Hinsicht die Energiekennzahl.

Aus diesem Grunde sollen für den Vergleich die Kosten unterschiedlicher Konzepte herangezogen werden. Zur Beurteilung der Gesamtkosten über die Lebenszeit werden nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch die betriebsgebundenen Kosten über die Lebenszeit verglichen.

Um einen dynamischen Vergleich zu erhalten, der Inflation und Fremdkapitalzins berücksichtigt, wird die Kapitalwertmethode herangezogen. Dabei werden sowohl die Anschaffungskosten, als auch die jährlichen betriebsgebundenen Kosten über den Betrachtungszeitraum auf heutige Kosten umgerechnet.

„Gemäß der Annuitätenmethode ergeben sich die jährlichen Kapitalkosten  $K_i$  für eine Investition  $I$  über die Nutzungsdauer der Maßnahme als Produkt aus dem Annuitätsfaktor  $a$  und der Investition. Berechnet werden hiermit die jährlichen konstanten Raten über die Nutzungsdauer.“<sup>63</sup>

*jährliche Kapitalkosten :  $K_i = a \cdot I$*

*Annuitätsfaktor :  $a = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$*

*Kalkulationszins :  $p$*

*Nutzungsdauer :  $n$*

---

<sup>63</sup> (Kah & Feist, 2005, S. 9)

Als Arbeitsdefinition gilt daher:

Ein Gebäudekonzept ist wirtschaftlicher als ein anderes, wenn seine Annuität kleiner ist, als die des anderen.

#### **2.4.4 Kosten energieeffizienten Bauens**

Die Mehrkosten für eine zweigeschossige Einfamilien-Doppelhaushälfte im Passivhaus-Standard mit 9x10,5m<sup>2</sup> belaufen sich auf knapp € 14.000,- gegenüber dem EnEV-Mindeststandard.<sup>64</sup>

Für ein 149m<sup>2</sup> Mehrfamilien-Passivhaus belaufen sich die Mehrkosten auf € 15.000,-.<sup>65</sup>

Auffällig ist, dass die Kosten für die Heiztechnik für energieeffiziente Häuser bei rund €3 5.000,-<sup>66</sup> liegen, unabhängig vom energetischen Standard des Gebäudes.

Die Mehrkosten für ein Passivhaus mögen relativ überschaubar sein. Berücksichtigt man aber, dass Passivhäuser per Definition kein Heizsystem besitzen, müsste für einen vollwertigen Vergleich das Heizsystem mitberücksichtigt werden. Dann wird schnell ersichtlich, dass allein die Kosten der Gebäudehülle bei einem Passivhaus rund € 50.000,- über jenen eines Standard-Hauses liegen.

In Deutschland trat am 1.2.2002 die EnEV in Kraft. Das Anforderungsniveau an den Jahresenergieverbrauch wurde dabei gegenüber der 2./3. WSV (Wärmeschutzverordnung) bei kleinen Gebäuden um ca. 25% verschärft.<sup>67</sup>

Mit dem verschärften Anforderungsniveau in Richtung „Nearly Zero Emission Building“ steigen dementsprechend auch die Kosten für all jene, die nicht beabsichtigen ein Passivhaus zu errichten.

---

<sup>64</sup> Vgl. (Rongen, Schulze Darup, Tribus, & Vallentin , 2015, S. 168f)

<sup>65</sup> Vgl. (Passivhausinstitut Darmstadt, 2015)

<sup>66</sup> Vgl. (Rongen, Schulze Darup, Tribus, & Vallentin , 2015, S. 166)

<sup>67</sup> Vgl. (Usemann, 2005, S. 94f)

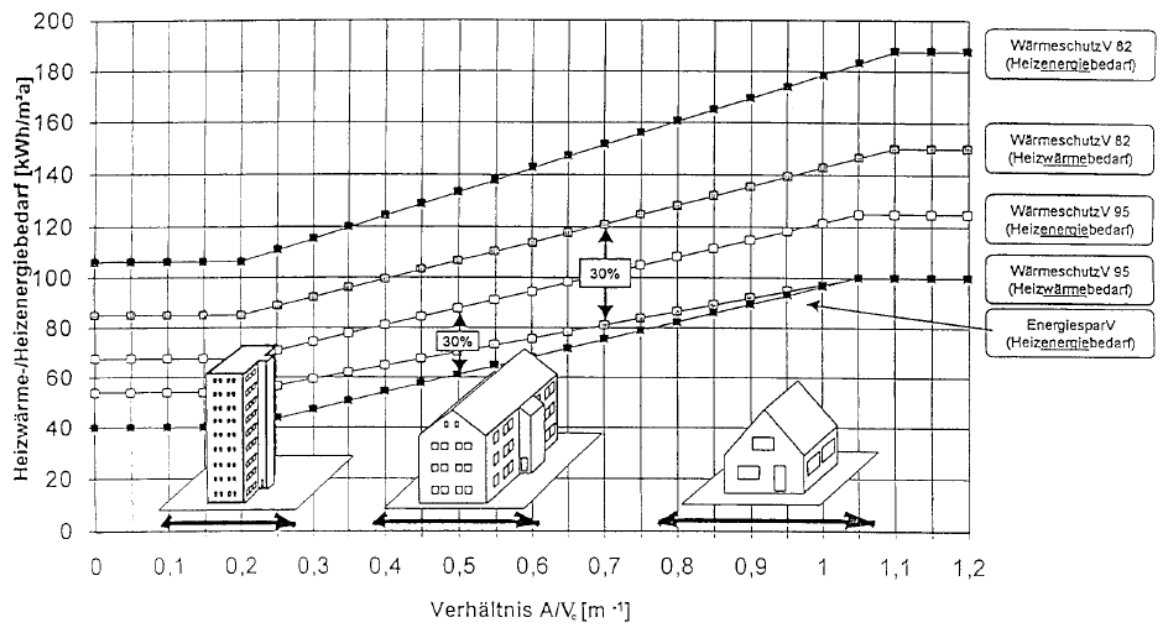


Abbildung 23 Vergleich Anforderungsniveaus<sup>68</sup>

<sup>68</sup> Vgl. (Usemann, 2005, S. 85)

### **3 Autarkhaus-Voraussetzungen**

Bei den in Kap. 2.1 genannten Gebäudekonzepten spielt die Reduktion des Energieverbrauchs und die Autonomie in Form von Energiebilanzen eine Rolle, ein eigenständiges Kriterium, das die Energieautarkie fordert, existiert aber nicht. Vielmehr beschränken sich die Kriterien auf die Optimierung energietechnischer Größen, um Forderungen nach mehr Energieautonomie auf europäischer Ebene zu erfüllen. Das menschliche Grundbedürfnis nach Freiheit in Form von Unabhängigkeit und Autarkie scheint jedoch nicht zu den Kriterien zu zählen. Ein Gebäudekonzept, das neben den sachlichen Forderungen hinsichtlich Energieeffizienz beim Bau eines Wohngebäudes auch die emotionalen erfüllt, scheint indes Mangelware.

#### **3.1 Autarkie und Autonomie**

##### **3.1.1 Begriffsdefinition und Abgrenzung Autarkie/Autonomie**

Bereits der alltägliche Gebrauch der Begrifflichkeiten „Autarkie“ und „Autonomie“ im Zusammenhang mit Energie macht deutlich, dass hier bedeutende Auffassungsunterschiede vorherrschen. Für die vorliegende Arbeit sollen die Begriffe folglich abgegrenzt werden.

Autonomie bezeichnet vorwiegend selbstbestimmt entscheiden zu können. Die Systemgrenzen sind dabei weit gefasst. Aus energetischer Sicht bedeutet dies, dass auch Energie aus der Umgebung herangezogen werden kann, man dabei aber eine Wahlmöglichkeit hat, auf welche Energiequelle man zurückgreift.

Bei der Definition von Autarkie wird vielfach unterschieden zwischen der Weite der Systemgrenzen, der Energie-, Stoff-, Wertströme als Bezugsgrößen, aber auch zwischen bilanzgerechter Autarkie versus lastgerechter Autarkie. Die Bilanzierung der „grauen Energie“ ist ebenfalls nicht geklärt <sup>69</sup>

Bekannte Gebäudemodelle, aber auch die gängige Praxis, beziehen sich häufig auf die „bilanzielle Autarkie“, bei der die Summe der erzeugten Energie mit der Summe der verbrauchten Energie im Jahr bilanziert wird.

---

<sup>69</sup> Vgl. (Deutschle, et al., 2015)

Dies ist auch gleichzeitig der Schwachpunkt dieser Konzepte. Naturgemäß fallen Energieverbrauch und Energieerzeugung, insbesondere im Falle volatiler erneuerbarer Energie z.B. aus Fotovoltaik, nicht zeitlich zusammen. Diese Lücke schließt derzeit das Stromnetz. Dieses wird dadurch zunehmend belastet.

Im Folgenden bezieht der Autor den Begriff „Autarkie“ auf lastgerechte Energie-Autarkie mit der Systemgrenze des Grundstückes. Stoffströme und „graue Energie“ bleiben unberücksichtigt. Ein energieautarkes Haus ist demnach ein Gebäude, das sich selbst in Echtzeit, also ohne Verbindung nach außen, mit Energie versorgen kann. Ist diese Vollversorgung nicht möglich, spricht man von Teilautarkie. Bei einem Autarkiegrad von z.B. 60% würden demnach 60% der benötigten Energie direkt am Grundstück erzeugt.

### **3.1.2 Warum Autarkie?**

Ein zentraler Einflussfaktor bei der Wahl des Heizsystems stellt das Thema Unabhängigkeit dar. Der Motivator Freiheit äußert sich dabei auf unterschiedliche Weisen und bekommt in jüngerer Zeit zunehmend Nährboden durch politische Instabilität, unvorhersehbare Energiepreisschwankungen, Engpässe aber auch Stromausfälle, etwa durch Unwetter.

In Zusammenhang mit Energieautarkie und Energieautonomie spielen in der Praxis, neben weiteren Begriffen, Emotion und Motivation eine Rolle.<sup>70</sup>

Die Ausprägung der Unabhängigkeit äußert sich folgendermaßen:

### **3.1.3 Unabhängigkeit von Einspeisetarifen**

Die geförderten Einspeisetarife für PV-Anlagen galten eine Zeitlang als attraktiver Anreiz zum Bau von PV-Anlagen. Diese Tarife sind inzwischen massiv gefallen, werden bisweilen nur noch für ein Jahr vergeben und dann einseitig aufgekündigt. Die Wirtschaftlichkeit der Investition ist somit in Gefahr.

---

<sup>70</sup> Vgl. (Deutschle, et al., 2015, S. 152)

### **3.1.4 Unabhängigkeit von Lieferengpässen und Energiepreisschwankungen**

Wirtschaftlichkeitsberechnungen beruhen auf Prognosemodellen und basieren lediglich auf Annahmen. Ein Sprichwort, dessen Herkunft nicht gesichert ist, beschreibt dies mit: „Prognosen sind schwierig, besonders, wenn sie die Zukunft betreffen.“

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der vergangenen Jahre beruhen auf Energiepreissteigerungen von ca. 5% p.a. und mehr, wie in Kap. 2.1.1 erläutert wurde. Die aktuelle Situation zeigt deutlich, dass diese Berechnungen aufgrund der rapide sinkenden Energiepreise ihre Gültigkeit verlieren.

Unsichere Gasversorgung durch außenpolitische Konflikte schürt Ängste und im Fall von Elektrizität, ist taktischer Einkauf und Kauf auf Vorrat mangels geeigneter Energiespeicher nicht möglich und verdeutlicht die Abhängigkeit von Energienetzbetreibern.

### **3.1.5 Unabhängigkeit bei Stromausfall**

In unseren Breitengraden ist die Netzversorgung mit einer Nichtverfügbarkeit (SAIDI) von 49,62 Minuten p.a. 2014 sehr stabil<sup>71</sup>. Dennoch kommt es immer wieder zu Ausfällen. Fällt der Strom aus, steht die gesamte Haustechnik und weder Tiefkühlschrank, noch Heizung, noch Warmwassererzeugung funktionieren.

Die in Kap. 2.1 beschriebenen Gebäudekonzepte vereinen folgende Punkte:

- eine verbesserte Gebäudehülle (Dämmung, Ausrichtung, Geometrie, Wärmebrücken)
- Angepasste und optimierte Anlagentechnik

Während beim Passivhaus der Fokus auf der Optimierung der Gebäudehülle – unter Bedachtnahme der wirtschaftlichen Vertretbarkeit liegt, orientieren sich z.B. das Sonnenhaus oder Plus-Energie-Konzepte an der erzeugbaren Jahresenergie und nehmen Abstriche in der energetischen Qualität der Hüllfläche in Kauf.

---

<sup>71</sup> Vgl. (E-Control, 2015, S. 2)

Die Energiespeicherbarkeit spielt lediglich beim Sonnenhaus in Form eines Wasser-Langzeit-Wärmespeichers eine zentrale Rolle. Für die übrigen Konzepte ist die Speicherbarkeit eine Kann-Bestimmung.

Als Argument gegen die Speicherung von Strom werden häufig die Kosten genannt.<sup>72</sup> „Stromspeicher sind sinnvoll, aber teuer.“<sup>73</sup>

Die Autarkie wird nur am Rande thematisiert und stellt bei keinem der Konzepte eine zentrale Forderung dar. Als Grund werden auch die Speicherkosten angeführt.

Bei ausreichender Speicherkapazität und Sonnenscheindauer können einzelne Gebäude autark versorgt werden. Bei Einbindung des Elektrofahrzeuges kann die Fahrbatterie als zusätzlicher Speicher die Versorgung des Haushalts übernehmen oder mit Solarstrom geladen werden. Man bezeichnet dieses Konzept auch als „Vehicle-to-Home“ (V2H).<sup>74</sup>

### **3.2 Die Zukunft ist elektrisch**

Während seit 1970 bis 2011 die Ölpreise um nahezu 1000 Prozent, die Gaspreise um 450 Prozent gestiegen sind, verzeichnet die elektrische Energie einen Anstieg von „nur“ 400 Prozent bei gleichzeitigem VPI-Anstieg (Verbraucher-Preis-Index) um rund das Dreifache. Die technologischen Entwicklungen und rationellere Produktionsbedingungen haben zu einer Inflation bei Energiepreisen und in weiterer Folge zur „grid-parity“ für erneuerbare Energie geführt.<sup>75</sup>

Dies vor dem Hintergrund, dass Elektrizität die hochwertigste Energieform<sup>76</sup> ist, die wir kennen.

Nach dem Energieerhaltungssatz wird grundsätzlich Energie nicht verbraucht, sondern lediglich umgewandelt. Die Energiemenge bleibt konstant.

---

<sup>72</sup> Vgl. (Rongen, Schulze Darup, Tribus, & Vallentin, 2015, S. 125)

<sup>73</sup> (Schwarzburger, 2014, S. 6, 36)

<sup>74</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 385)

<sup>75</sup> Vgl. (Hegger, Fafflock, Hegger, & Passig, 2013, S. 62)

<sup>76</sup> Vgl. (Haas, 2013, S. 85f)

„Nun sehen wir andererseits aus der zuletzt abgeleiteten Form des Principis, dass die Energie eines Systems constant bleibt, wenn ein mit ihm ausgeführter Process keine äusseren Wirkungen hervorruft...Das System besitzt ein gewisses Quantum Energie, das (bei fixiertem Nullzustand) durch den augenblicklichen Zustand vollständig bestimmt ist und jederzeit (durch Überführung in den Nullzustand) berechnet werden könnte. Dies Quantum bleibt constant, wird erhalten, solange das System keine Wirkungen nach aussen abgibt resp. empfängt, und durch die inneren Wirkungen wird nur seine Form, nicht seine Grösse geändert. ...so setzt sich die Energie eines Systems zusammen aus der Summation der einzelnen Energiearten.“<sup>77</sup>

Elektrizität kann beispielsweise in Licht, Schall, Bewegung umgewandelt werden, wo es in weiterer Folge in Wärme umgewandelt wird.<sup>78</sup>

Elektrizität unterscheidet sich demnach nicht nur im Preis von anderen Energieformen, sondern insbesondere in der Qualität und der vielseitigen Nutzung.

### **3.2.1 Photovoltaik**

Die energetische Amortisation von Solarzellen findet nach drei bis 12 Jahren statt. Danach liefern PV-Zellen sechs- bis vierzehn-mal soviel Energie wie bei der Herstellung benötigt wurde. Besonders kostengünstig und umweltfreundlich sind dabei Dünnschichtmodule (amorphe Module). Die Lebensdauer beträgt 20 Jahre im Fall von Dünnschichtmodulen und über 30 Jahre bei kristallinen Modulen.<sup>79</sup>

Die Kosten für eine PV-Anlage betrugen im Jahr 2011 noch € 10.000,- bis € 12.000,- für eine 4kWp-Anlage inkl. Montage. Die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten ca. € 100,-.<sup>80</sup> Der kWp-Preis somit € 2.500,- bis € 3.000,- je kWp.

---

<sup>77</sup> (Planck, 1887, S. 103)

<sup>78</sup> Vgl. (Wikipedia, 2016)

<sup>79</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 166ff)

<sup>80</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 191)



Es gilt als allgemein anerkannt, dass die Energieerzeugung vermehrt durch erneuerbare Quellen wie z.B. Sonne und Wind erfolgen muss. Dies hat auch zur Folge, dass die so erzeugte Energie zwischengespeichert werden muss, um die Verschiebung zwischen Erzeugung und Bedarf auszugleichen (zu Puffern).<sup>81</sup>

2008 waren in Deutschland 5,5 GWp am Netz. Da die höchste Erzeugung um die Mittagszeit einigermaßen mit dem Verbrauch zusammenfällt, lässt sich die PV bis zu einer maximal ausgebauten Leistung von 30 GWp ohne zusätzliche Speicher gut in das Energienetz integrieren.<sup>82</sup>

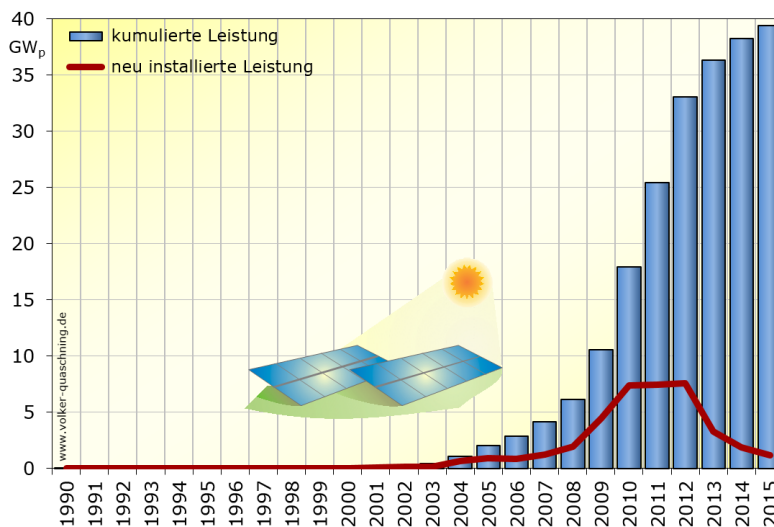


Abbildung 24 PV-Leistung am Netz in Deutschland<sup>83</sup>

### 3.2.2 Elektro-Heizung

Der Primärenergiesatz für eine Elektroheizung wird in der OIB Richtlinie mit knapp 300% angegeben. Dies unter der Voraussetzung, dass die Elektrizität aus Kohlekraftwerken mit einem Wirkungsgrad von 34% stammt. Dem gegenüber liegt der Primärenergieeinsatz einer Wärmepumpe bei 101%, bei Gas- und Ölheizungen bei 119% bzw. 125%.<sup>84</sup>

Bei oberflächlicher Betrachtung schneidet die Elektro-Heizung daher in ökologischer Hinsicht sehr schlecht ab.

<sup>81</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 383)

<sup>82</sup> Vgl. (Wesselak & Schabbach, 2009, S. 417f)

<sup>83</sup> (Quaschning, 2015)

<sup>84</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 215)

Dies sieht naturgemäß anders aus, wenn der Strom aus erneuerbaren Quellen, wie Wasserkraft, Wind oder der eigenen PV-Anlage stammt.

Geht man, wie in Kap. 3.2.1, davon aus, dass PV-Zellen mindestens sechsmal soviel Energie erzeugen, wie für Ihre Herstellung eingesetzt wurde, dann liegt der Primärenergieeinsatz bei einem Sechstel, also rund 17%. In diesem Fall zählt die Elektroheizung in Kombination mit PV-Anlage und gespeist mit 100% Sonnenstrom zu den ökologischsten Heizsystemen.

Einen besonderen Stellenwert unter den Elektro-direkt-Heizungen nehmen die Infrarotheizungen ein. Der Unterschied liegt vor allem darin, dass im Vergleich zu herkömmlichen Konvektoren nicht die Erwärmung und Umwälzung der Raumluft im Fokus steht, sondern durch Infrarotstrahlung die Oberflächen erwärmt werden. Folgt man den Argumenten der Hersteller sollen diese Heizungen deutlich effizienter sein. Fundierte empirische Nachweise darüber sind nicht bekannt.

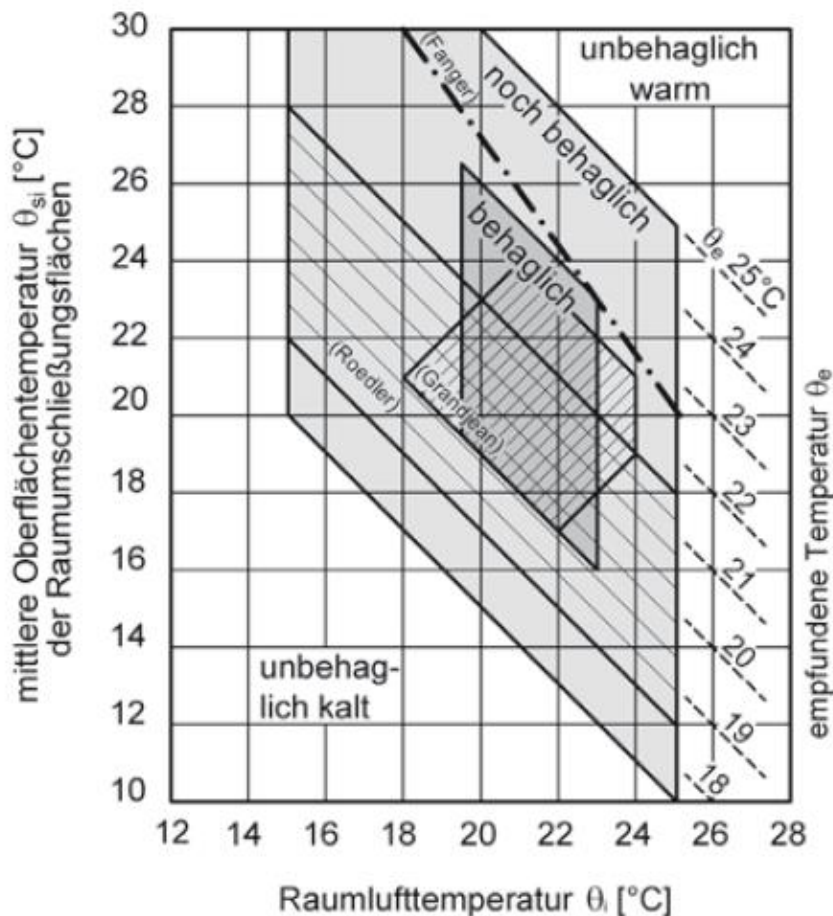


Abbildung 25 Behaglichkeitsfelder für das Wertepaar Raumlufttemperatur / mittlere Raumumschließungsflächentemperatur (nach Roedler, Frank, Grandjean und Fanger)<sup>85</sup>

Außer Zweifel aber ist, dass bei niedrigerer Raumtemperatur, aber höherer Temperatur der Umfassungsflächen das Behaglichkeitsniveau das Selbe ist. Ein Raum mit 22°C Raumtemperatur und mittlerer Oberflächentemperatur von 18°C bietet die Selbe empfundene Temperatur (nämlich 20°C) wie ein Raum mit 18° und 22° Oberflächentemperatur. Demnach ist der Raum nur auf 18° aufzuheizen, was mitunter einen geringeren Energieeinsatz bedeutet. Genau ist dies jedoch nicht quantifizierbar. Als grobe Richtlinie geht die Literatur von 6% Energieeinsparung je Grad Kelvin niedrigerer Raumtemperatur aus.<sup>86</sup>

<sup>85</sup> (Willems, Schild, & Dinter, 2006, S. 4.3)

<sup>86</sup> Vgl. Energie Tirol

### 3.2.3 Smart Grids



Abbildung 26 Darstellung Smart Grid<sup>87</sup>

Für die Integration erneuerbarer Energien und die bedarfsadäquate Energiebereitstellung, werden Smart Grids, „intelligente Netze“, eine entscheidende Komponente der Energieversorgung der Zukunft sein. Smart Grids tragen im Wesentlichen Verantwortung dafür, dass ausreichend Netzkapazitäten für alle Stromerzeuger und Strombezieher vorhanden sind. In Zukunft wird jedes Haus nach Möglichkeit nicht nur Strom beziehen, sondern auch selbst Strom erzeugen und ins Netz einspeisen können und so zum „Prosumer“ werden. Damit können die Kosten für die Integration der erneuerbaren Energien um bis zu 80 Prozent vermindert werden. Überdies lassen sich etwa 40 bis 52 Prozent mehr Strom aus Photovoltaikanlagen in ein öffentliches Netz einspeisen. Eine wichtige Rolle beim

<sup>87</sup> (Österreichs E-Wirtschaft, 2013)

Management der Smart Grids spielen „intelligente“ Stromzähler (Smart Meter). Sie sorgen für die Bereitstellung der notwendigen Messdaten, um das Smart Grid im Gleichgewicht zu halten.<sup>88</sup>

Seit 1. Jänner 2011 sind Netzbetreiber in Deutschland verpflichtet, im Neubau oder bei größerer Renovierung Smart Meter einzubauen. Verbraucher können freiwillig darauf umsteigen.

Smart Meter ermöglichen:<sup>89</sup>

- Genaue Aufzeichnung des zeitlichen Energieverbrauchs – das ermöglicht dem Nutzer gezielt Einsparungen vorzunehmen.
- Lastvariable oder tageszeitabhängige Stromtarife – ermöglicht Strom zu verbrauchen oder zu speichern, wenn dieser am günstigsten ist.
- Die indirekte Steuerung des Verbrauchs und Reduktion von Lastspitzen im Netz.
- Elektronische Verbrauchssteuerung von Haushaltsgeräten.

### **3.2.4 Virtuelle Kraftwerke**

Der Einsatz erneuerbarer Energie bringt auch Nachteile mit sich. Einer davon ist die volatile Verfügbarkeit, mit der Konsequenz, dass trotz Ausbau erneuerbarer Energieerzeugung konventionelle Kraftwerkstechnik (aufgrund des Atomausstieges vorwiegend in Form von Kohlekraftwerken) vorhanden und betriebsbereit sein muss. Denn bei Nichtverfügbarkeit der erneuerbaren (z.B. großflächiger Nebel oder Windstille) muss dennoch Energie bereitgestellt werden. Die Folge daraus ist, dass die Stromkosten weiter steigen werden, zumal in Summe doppelte Kraftwerksleistung installiert und betrieben werden muss und zum anderen Energienetze ausgebaut und verstärkt werden müssen, um die elektrische Arbeit auch dorthin zu transportieren, wo diese benötigt wird.<sup>90</sup>

Ein Ansatz zur Lösung sind kleinräumig vernetzte Energieerzeuger und Verbraucher. Über eine zentrale Leitstelle werden diese koordiniert und der Austausch

---

<sup>88</sup> Vgl. (Österreichs E-Wirtschaft, 2013)

<sup>89</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 521-525)

<sup>90</sup> Vgl. (Schwab, 2015, S. 22ff)

mit dem überregionalen Netz erfolgt nur bei Überschuss bzw. Defizit. Die Aufgabe der Smartgrids besteht dabei darin, die Lasten zu messen und über die Tarifstruktur steuernd einzugreifen.<sup>91</sup>

„Mit dem Wandel mutieren mittelfristig viele Konsumenten zu Prosumenten, die klassischen Verteilnetze zu Smart Grids, Städte zu Smart Cities und Wohngebäude zu Smart Homes.“<sup>92</sup>

Da Konsumenten durch Eigenerzeugung und in Kombination mit Speichern zu Prosumenten werden, werden diese künftig eine wichtige Rolle in diesen virtuellen Netzen spielen.

In der Praxis umgesetzt wird diese Idee bereits vom Batteriespeicherhersteller Sonnen GmbH aus dem Allgäu. Mit der Sonnencommunity wird Sonnenstrom zu einem fixen Preis 1:1 ausgetauscht. Wer Überschuss produziert verschiebt diesen in den virtuellen Strompool, wo dieser von jenen, die Strom benötigen, bezogen wird.

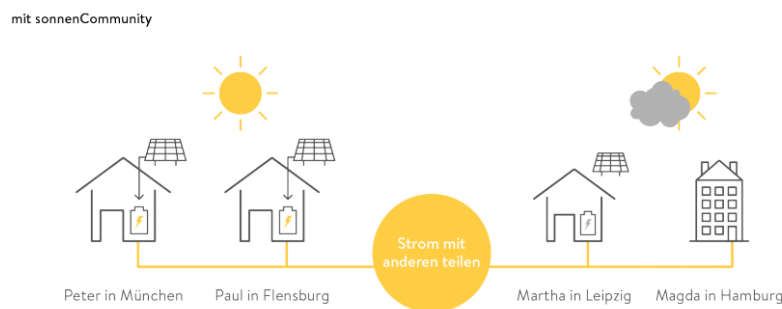


Abbildung 27 Virtuelles Kraftwerk Sonnencommunity<sup>93</sup>

<sup>91</sup> Vgl. (Schwab, 2015, S. 24)

<sup>92</sup> (Schwab, 2015, S. 24)

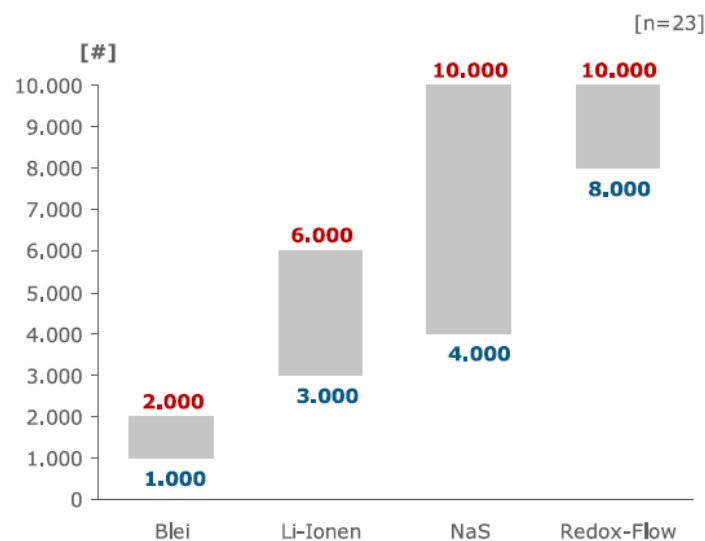
<sup>93</sup> (Sonnen, 2016)

### 3.2.5 Energie-Speicherung

Die Entkoppelung von Angebot und Nachfrage durch Energiespeicherung ist für den Ausbau der erneuerbaren Energien unumgänglich. Zu den Nachteilen erneuerbarer Quellen wie Wind und Sonne zählt die dargebotsabhängige Verfügbarkeit. Dies bedeutet, dass das Angebot nicht zwingend mit der Nachfrage zusammentrifft. Dabei entstehen Überschüsse, die letztlich zu Dumpingpreisen ins Ausland geliefert werden.<sup>94</sup>

10% des deutschen PKW-Bestandes mit Plugin-Hybrid-Antrieben ausgestattet, könnten soviel Energie speichern, wie alle Pumpspeicher-Kraftwerke zusammen. Bei einem vollständigen Umstieg auf Elektro-Autos ließe sich der Energiebedarf privater PKWs auf 75% reduzieren und vollständig durch Windenergie decken.<sup>95</sup>

Zusammenfassend besitzen Speicher folgende Eigenschaften. Sie sind teuer und verlustbehaftet.<sup>96</sup>



**X** = Minimalwerte<sup>[1]</sup>    **X** = Maximalwerte<sup>[1]</sup>

[1] Median der Antworten im unteren (Minimum) und oberen Bereich (Maximum)

Abbildung 28 Schwankungsbreite Zykluszahl<sup>97</sup>

Die Zykluszahl und folglich die kalendarische Lebensdauer von Speichern ist stark abhängig von der Entladetiefe – insbesondere bei Blei-Akkumulatoren.<sup>98</sup>

Eine empirische Untersuchung unter einschlägigen Akteuren auf Vollkostenbasis

<sup>94</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 43ff)

<sup>95</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 88)

<sup>96</sup> Vgl. (Watter, 2015, S. 371)

<sup>97</sup> (Kondziella, Brod, Bruckner, Olbert, & Mes, 2013)

<sup>98</sup> Vgl. (Kondziella, Brod, Bruckner, Olbert, & Mes, 2013)

von Batteriespeichern auf Großhandels- bzw. Übertragungsnetzebene ergibt nachfolgendes Ergebnis:

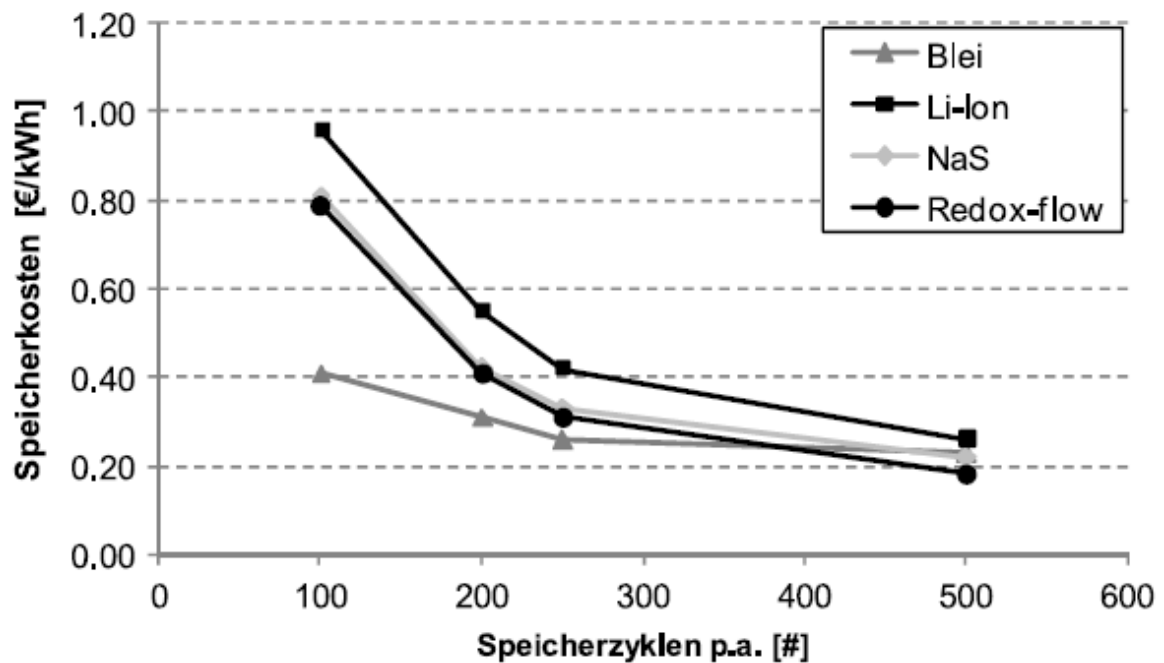


Abbildung 29 Spezifische Speicherkosten<sup>99</sup>

Im Jahr 2013 lagen demnach die Speicherkosten, je nach eingesetzter Technologie und Zyklenanzahl zwischen 20€ct und 1€ pro Wh.

Anwendung	Blei	Li-Ionen	NaS	Redox-Flow
Energiemanagement (Industrie/Haushalte)				
Power Quality				
Verteilnetzmanagement				
Übertragungsnetzmanagement				
Integration kleinskaliger erneuerbarer Erzeugungsanlagen (< 10 kW)				
Integration großskaliger erneuerbarer Erzeugungsanlagen				

Abbildung 30 Anwendungsfelder unterschiedlicher Speicher<sup>100</sup>

<sup>99</sup> (Kondziella, Brod, Bruckner, Olbert, & Mes, 2013)

<sup>100</sup> (Kondziella, Brod, Bruckner, Olbert, & Mes, 2013)



Das Einsatzspektrum von Lithium-Ionen-Speichern ist sehr vielseitig. Insbesondere im Bereich für private Haushalte dürften sie besonders geeignet sein.

Aktuell sinkt der Preis für Energiespeicherlösungen alle vier Wochen um 1%.<sup>101</sup>

### **3.3 Batteriespeicher**

#### **3.3.1 Lithium-Ionen-Speicher (Lion)**

Lithium ist nur zu einem geringen Teil in der Erdkruste vorhanden. Dennoch ist es weit mehr als ausreichend vorhanden, um den globalen Verkehr zu elektrifizieren und den gesamten Wind- und Solarstrom weltweit zu puffern. Kostentreiber sind dabei nicht die Lithium-Mineralien selbst, sondern der aufwendige Herstellprozess des Lithium Metalls.<sup>102</sup>

Klassische Lithiumzellen bergen auch Risiken. Lithium ist ein hochreaktiver Stoff und ist leicht entzündlich. Bei Berührung mit Wasser, Übertemperaturen wie sie in Folge von Überladung, Kurzschlüssen oder mechanischen Beschädigungen auftreten, kann es zu Bränden kommen. Neuere Zellen verfügen daher über keramische Separatoren und sind mit thermischer Überwachung und Überladungsschutz ausgestattet.<sup>103</sup>

Moderne Lion-Akkus zeichnen sich durch hohe Energiedichte, hohe thermische Stabilität und einen nicht existenten Memory-Effekt aus.<sup>104</sup>

ESS (Energy Storage Systems) (Lithium) haben eine erwartete Lebensdauer von 20 Jahren. Lithium-Batterien haben eine sehr hohe Speichereffizienz bei bis zu über 95% - abhängig von Lade- und Entladeraten. Im Vergleich zu Blei-Batterien sind sie noch relativ teuer.<sup>105</sup>

---

<sup>101</sup> Vgl. (Sedlak, Ausblick: Energie speichern wird billiger, 2015)

<sup>102</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 77)

<sup>103</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 76)

<sup>104</sup> Vgl. (Wosnitza & Hilgers, 2012, S. 78f)

<sup>105</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 386)

„Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung eines Batteriesystems ist die sogenannte „CRate“, sie ist das Verhältnis aus Be- oder Entladestrom und Akku-Kapazität [mA/mAh] oder auch dem Leistungs-/Energieverhältnis [kW/kWh]: Die Angabe „25C discharge“/„ 2C charge“ bedeutet bei einem 2000mAh-Akkumulator, dass der Entladestrom nicht größer als  $25\text{mA/mAh} \times 2000\text{mAh} = 50\text{A}$  und der Beladestrom nicht größer als  $2\text{mA/mAh} \times 2000\text{mAh} = 4\text{A}$  sein sollte.“<sup>106</sup>

Bei großen Anlagen als Zwischenspeicher und insbesondere im privaten Haushalt werden Lion-Speicher künftig eine bedeutende Rolle spielen. Die Betriebssicherheit ist insbesondere im privaten Bereich die wichtigste Eigenschaft.<sup>107</sup>

### **3.3.2 Einsatzbereich von Lion-Speichern**

Die gegenwärtige Literatur spricht bei Speichieranwendungen für Elektromobilität und stationäre Speicher in der Regel von Lion-Speichern.

Sie spielen eine immer größere Rolle in der Elektromobilität (PKW, Hybridbusse, Pedelecs) und werden im stationären Betrieb als Kleinpuffer (2kWh bis zu Großanlagen) eingesetzt.<sup>108</sup>

Li-Ionen-Batterien in Elektrofahrzeugen aber auch im stationären Betrieb gelten als Schlüsselkomponente für den Umbau des Energienetzes. Sie können einen Teil der dringend benötigten Regelenergie bereitstellen.<sup>109</sup>

Aller Voraussicht nach werden stationäre Speicher und Fahrzeugbatterien der größte künftige Anwendungsbereich für Lion-Speicher sein. Lion-Speicher werden auch einen Teil der Blei-Säure Batterien speziell im Bereich der Notstromversorgungen übernehmen.<sup>110</sup>

---

<sup>106</sup> (Watter, 2015, S. 383)

<sup>107</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 374)

<sup>108</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 14)

<sup>109</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. VI)

<sup>110</sup> Vgl. (Korthauer, Reiner & et al., 2013, S. 384)

	Lokale Speicher Batteriegröße $\leq 100$ kWh	Zentrale Speicher Batterien $\geq 1$ MWh
Kurze Speicherzeit (kleiner 1 Stunde)	Blei-Säure-Batterie Lithium-Ionen-Batterie	Lithium-Ionen-Batterie
Lange Speicherzeit (1 Stunde bis mehrere Tage)	Lithium-Ionen-Batterie Brennstoffzelle Blei-Säure-Batterie	Lithium-Ionen-Batterie Hochtemperaturbatterien Redox-Flow Systeme

Abbildung 31 Einsatz von Speichersystemen (Korthauer)<sup>111</sup>

### 3.3.3 Speicherkosten

Durch technischen Fortschritt und Skaleneffekte haben sich die Systemkosten für Heimspeicher im letzten Jahr um 26% reduziert.<sup>112</sup>

Lt. Bundesverband Solarwirtschaft wird sich durch die fallenden Preise und den Wunsch nach Unabhängigkeit die Zahl der Heimspeicher bis 2020 jährlich verdoppeln. Die Preise sind in den letzten 24 Monaten um 30% gesunken.<sup>113</sup>

Aktuell liegt der Preis für den MyReserve 500 von Solarwatt bei € 5.500,- Bruttoendkundenpreis für 4,4kWh nutzbare Kapazität.<sup>114</sup>

Zuzüglich geschätzter Kosten für Montage und Inbetriebnahme des Plug and Play-Systems dürfte der Preis bei ca. 6.500 liegen.

Der Preis für kleine Speicher dürfte daher aktuell in der Größenordnung von € 1.500,- pro Kilowattstunde liegen.

Die Kosten für selbst erzeugten Solarstrom liegen in der Größenordnung von 12 ct/kWh, rechnet Wolfgang Sedlak von VOLTIMUM vor. Dabei sinken die Kosten für Batteriespeicher alle 4 Wochen um 1%.<sup>115</sup>

Noch im Sommer 2013 lagen die Preise für Hausbatterien bei € 3.000.- je Kilowattstunde Speicherkapazität. Auf die Lebensdauer der Batterie umgelegt kostete die, in einer Lithium-Batterie gespeicherte, Kilowattstunde 20 Cent.<sup>116</sup>

<sup>111</sup> (Korthauer, Reiner & et al., 2013)

<sup>112</sup> Vgl. (Bundesverband Solarwirtschaft, 2015)

<sup>113</sup> Vgl. (Bundesverband Solarwirtschaft, 2016)

<sup>114</sup> Vgl. (Solarwatt, 2016)

<sup>115</sup> Vgl. (Sedlak, Voltimum, 2015)

<sup>116</sup> Vgl. (Schoof, 2013)

Noch bei den Marktpreisen 2014 war mit Lithium-Ionen-Batterien für den Eigenverbrauch keine Wirtschaftlichkeit erreichbar. Unter bestimmten Umständen (Kombinationen von PV-Anlagen unterschiedlicher Größe und Batterien mit unterschiedlicher Speicherkapazität) könne bei Speicherpreisen von € 350.- bis € 1.000,- je Kilowattstunde ein interner Zinsfuß von 5% erreicht werden. Bei einer Abschreibedauer von 20 Jahren.<sup>117</sup>

### 3.3.4 Spezifische Speicherkosten

Für einen direkten Kostenvergleich von Batteriespeichern empfiehlt es sich, nicht die Anschaffungskosten je kWh Speicherkapazität zu vergleichen, sondern die Kosten der, über den Lebenszyklus eines Speichers, gespeicherten Energie. Dabei werden nämlich neben der speicherbaren Kapazität auch der Wirkungsgrad, die Zyklenfestigkeit und die Entladetiefe mitberücksichtigt.

Um die Degeneration, also die Abnahme der Speicherkapazität mit zunehmender Zyklenzahl zu berücksichtigen, wird eine Funktion festgelegt. Üblicherweise folgen Funktionen dieser Art Exponentialfunktionen, zur Vereinfachung wird eine lineare Funktion gewählt. Dies ist für relativ kurze Zeiträume zulässig. Für weitere Degeneration wäre die lineare Funktion einerseits aufgrund der Abweichung, andererseits aufgrund des Alterungseinflusses (wird hier nicht berücksichtigt) nicht mehr zulässig.

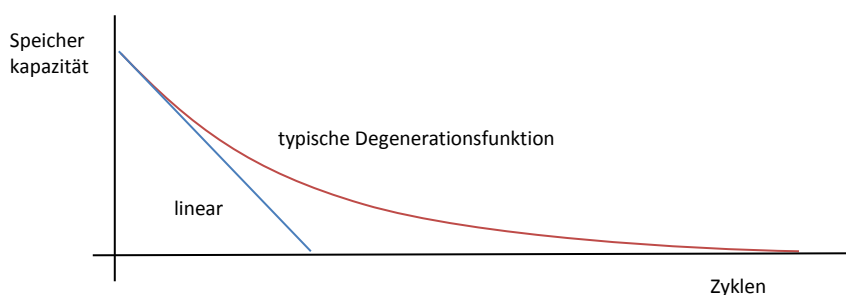


Abbildung 32 Degenerationsfunktion einer Batterie; Eigene Darstellung

<sup>117</sup> Vgl. (Metastudie - Energiespeicher, 2014)

Die lineare Funktion für die Speicherkapazität ergibt sich als:

$$Q(z) = Q_0 - k * z$$

$Q(z)$ = Die aktuelle Speicherkapazität abhängig von der Zyklenzahl

$Q_0$ = Anfangskapazität der Batterie

$k$ = Steigung der Funktion (Abhängig von den Speicherdaten)

$z$ = Zyklen

Die gesamte ein- und ausgespeicherte Kapazität ergibt sich als Integral über die Degenerationsfunktion. Vereinfacht abgeleitet aus der linearen Funktion ergibt sich:

$$Q_{ges} = Q_0 * Z - \frac{Z^2}{2} * k$$

$Q_{ges}$ = gesamte ein- und ausgespeicherte Kapazität

$Z$ = gesamte Zyklenzahl

$$k = \frac{Q_0 - Q_Z}{Z}$$

	MyReserve	Tesla Powerwall	Varta Engion	RWE Home Power	IBC Solar	Sonnenbatterie	Akasol neoQube	Garabat
Großhandelspreis		4 217,00	7 703,00	12 259,00	7 500,00	11 300,00	7 150,00	10 000,00
Endkundenpreis 20% Rohaufschlag*		5 060,40	9 243,60	14 710,80	9 000,00	13 560,00	8 580,00	12 000,00
Bruttopreis inkl. MwSt.	5 500,00	6 072,48	11 092,32	17 652,96	10 800,00	16 272,00	10 296,00	14 400,00
Bruttopreis inkl. Montage und Inbetriebnahme**	6 500,00	7 072,48	12 092,32	18 652,96	11 800,00	17 272,00	11 296,00	15 400,00
Zyklenzahl	8000	5000	14000	8000	5000	10000	5000	7500
nutzbare Kapazität	4,4	5,6	5,2	7	4,7	8	4,4	8
Restkapazität nach Zyklen	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Kalendarische Lebensdauer	20	20	20	20	20	20	20	20
Wirkungsgrad***	93%	80%	85%	80%	80%	93%	80%	96%
Steigung k	-0,00011	-0,000224	-7,4286E-05	-0,000175	-0,000188	-0,00016	-0,000176	-0,00021333
Gesamtkapazität Qges =	31 926,40	25 760,00	66 612,00	51 520,00	21 620,00	72 560,00	20 240,00	54 240,00
€/kWh Speichergröße	1 477,27	1 262,94	2 325,45	2 664,71	2 510,64	2 159,00	2 567,27	1 925,00
€/kWh gesamte gespeicherte Energie	0,20	0,27	0,18	0,36	0,55	0,24	0,56	0,28
* Rohaufschlag zur Ermittlung Endkundenpreis geschätzt								
** Montage und Material €1000,- inkl. MwSt. geschätzt								
*** rot hinterlegte Daten nicht angegeben, daher geschätzt								

Abbildung 33 Speichervergleich; Eigene Berechnung; Daten 2015 lt. Stromspeicher.org<sup>118</sup>

Die Streuung bei den Kosten für die gespeicherte kWh Strom ist beträchtlich. Mit Stand 18.6.2015 lag die gespeicherte Kilowattstunde bereits unter 20 Cent. Inzwischen dürfte der Preis noch weiter gefallen sein.

Die Kosten für selbst erzeugten und gespeicherten Strom liegen somit (unter der Berücksichtigung von 12 Cent für PV-Strom (Kap. 4.1.1)) ab ca. 30 Cent.

<sup>118</sup> Vgl. (Stromspeicher.org, 2015)

## Haushaltsstrompreise im europäischen Vergleich

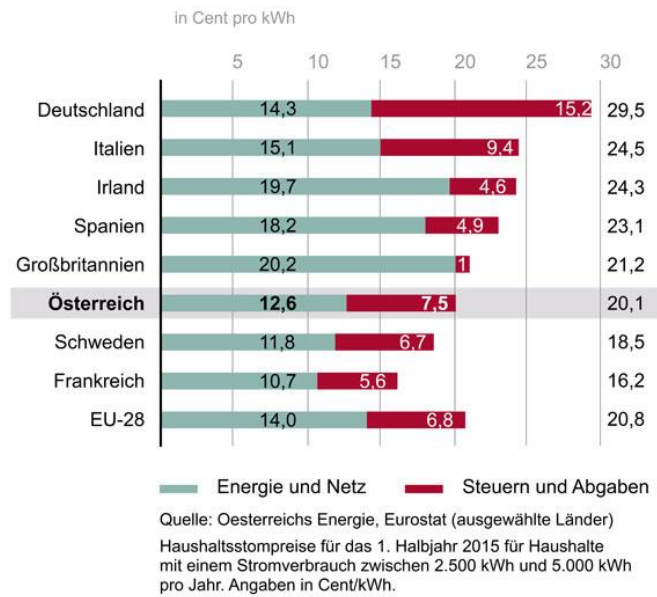


Abbildung 34 Strompreise Europa<sup>119</sup>

Bei einem Strompreis von knapp 30 Cent in Deutschland liegt dieser also gleich auf wie selbst erzeugter und gespeicherter Solarstrom. In Österreich ist die Netzparität von gespeichertem Solarstrom noch nicht erreicht.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Einflüsse auf die spezifischen Speicherkosten bei Veränderung von Wirkungsgrad, Restkapazität, und Preis.

<sup>119</sup> Vgl. (Österreichs Energie, 2015)

	Speicher 1	Speicher 2	Speicher 3
Bruttopreis inkl. MwSt.	5 500,00	5 500,00	2 000,00
Bruttopreis inkl. Montage und Inbetriebnahme**	6 500,00	6 500,00	3 000,00
Zyklenzahl	8000	8000	8000
nutzbare Kapazität	4,4	4,4	4,4
Restkapazität nach Zyklen	99%	99%	80%
Kalendarische Lebensdauer	20	20	20
Wirkungsgrad*	93%	99%	93%
Steigung k	-5,5E-06	-5,5E-06	-0,00011
Gesamtkapazität Q <sub>ges</sub> =	35 036,32	35 025,76	31 926,40
€/kWh Speichergröße	1 477,27	1 477,27	681,82
€/kWh gesamte gespeicherte Energie	0,19	0,19	0,09
* Montage und Material €1000,- inkl. MwSt. geschätzt			

Abbildung 35 Speicher Szenario; Eigene Darstellung

Da die technischen Randbedingungen wie Wirkungsgrad oder Alterung (Degradation) bei Lithium-Batteriespeichern bereits ausgereizt sind, hat eine Änderung dieser Parameter kaum Einfluss auf die Kosten für die gespeicherte Kilowattstunde. Über die Zyklenzahl könnten rein mathematisch die relativen Speicherkosten beeinflusst werden. Berücksichtigt man aber eine jährliche Voll-Zyklenzahl von ca. 300, ergeben sich rechnerisch bereits 26 Jahre. Derzeit geht man allerdings von einer geschätzten Lebensdauer von ca. 20 Jahren aus. Den meisten Einfluss auf die relativen Speicherkosten erzielt man über die Senkung der Speicherpreise. Unter € 700,- pro Kilowattstunde Speicherkapazität wird auch in Österreich Netzparität erreicht. Selbst erzeugter, gespeicherter und verbrauchter Strom ist dann gleich teuer wie vom Netz bezogener Strom. Anders ausgedrückt bedeutet dies soviel wie, dass die eigene PV-Anlage mit Speicher nichts mehr kostet. Unabhängigkeit ist damit umsonst.



### **3.4 Autarkhaus Gebäudekonzept**

Die Wirtschaftlichkeit spielt bei den betrachteten Gebäudekonzepten eine untergeordnete Rolle. Einerseits werden die Gebäudehüllen verbessert, was zu deutlich niedrigerem Energieverbrauch führt, andererseits werden, trotz vermindertem Energiebedarf, die Heizsysteme immer teurer. Mit dem Autarkhauskonzept wird ein Gebäudekonzept untersucht, das seinen Platz zwischen den bekannten Konzepten sucht und dabei Wirtschaftlichkeit und Autarkie bietet.

Für die einfachere Lesbarkeit wird das im Folgenden beschriebene Gebäudekonzept mit Autarkhaus bezeichnet.

#### **3.4.1 Gebäudehülle**

Die Mehrkosten für eine Passivhaus Gebäudehülle können je nach Geometrie und Gestaltung deutlich zu Buche schlagen (siehe 2.4.4). Das Autarkhaus sucht daher einen Mittelweg zwischen Passivhaus und bautechnischem Mindeststandard. Der Dämmstandard wird aus Erfahrungswerten frei gewählt. Der HWB soll ca. 25kWh/m<sup>2</sup>a betragen.

#### **3.4.2 Raumwärmebereitstellung**

Bei Heizleistungen von wenigen kW und einem Energiebedarf von wenigen 1000 kWh p.a. liegen die Kosten für moderne Heizanlagen in der Größenordnung zwischen ca. € 20.000,- und € 50.000.-, je nach Heizsystem, energetischem Standard, Gebäudegröße und geografischer Lage. Neben dem Heizsystem selbst, schlagen dabei auch Anschlussgebühren, Raumkosten, aber auch die Wärmeverteilung zu Buche. Das Autarkhaus verzichtet sowohl auf konventionelle Systeme und eine wassergeführte Wärmeverteilung. Die Beheizung erfolgt ausschließlich mit direkt beheizten elektrischen Heizungen wie Infrarotheizungen und Flächenheizungen.

### **3.4.3 Warmwasserwärmebereitstellung**

Die Warmwasserversorgung erfolgt mittels konventionellem elektrisch beheiztem Warmwasserspeicher. Der elektrische Anschluss wird dabei mit dem Energiemanagement verbunden, so dass das Warmwasser je nach verfügbarem Stromangebot zu beliebigen Zeiten erwärmt und somit Wärme gespeichert werden kann. Ebenso wird ein Warmwasseranschluss an den Geschirrspüler und an die Waschmaschine geführt. Auch diese Geräte werden mit dem Energiemanagement verbunden.

### **3.4.4 Haushaltstrom**

Haushaltsstrom bezeichnet jenen Stromanteil, der nicht für die Anlagentechnik für Beheizung, Klimatisierung und Warmwasser bereitgestellt werden muss. Hierzu zählen sämtliche Haushaltsgeräte und die Beleuchtung. Durch Einsatz effizienter Geräte und Beleuchtung und energiebewusstem Nutzerverhalten kann dieser Stromanteil deutlich reduziert werden.

### **3.4.5 Energieerzeugung**

Die gesamte benötigte Energie, Strom wie Wärme, wird mittels eigener PV-Anlage erzeugt. Da der Hauptenergiebedarf im Winter liegt, wird die PV-Anlage dementsprechend steil ausgerichtet um möglichst hohen Winterertrag zu generieren. Für den Fall, dass die erzeugte Energie nicht ausreicht und insbesondere abends wird Energie aus dem Batteriespeicher oder dem Stromnetz bezogen.

### **3.4.6 Energiespeicherung**

Besonders durch die zeitliche Verschiebung zwischen Erzeugung und Verbrauch wird ein Speicher benötigt. Aber auch zur Pufferung bei Netzausfall, um Autarkie zu gewährleisten, ist eine Energiespeicherung erforderlich. Zur Speicherung der elektrischen Energie wird ein Llon-Speicher eingesetzt. Um den Speicher und so-

mit die Kosten möglichst gering zu halten, wird nicht die gesamte benötigte Energie im Batteriespeicher gespeichert, sondern jener Anteil, der für Wärmeerzeugung erforderlich ist ausgelagert. Im konkreten bedeutet dies, dass PV-Strom direkt zum Zeitpunkt seiner Verfügbarkeit den Warmwasserboiler auflädt, Haushaltsgeräte wie z.B. Trockner oder Waschmaschine aktiviert oder auch Räume vorheizt und die Gebäudemasse als Wärmespeicher dient. Die Steuerung erfolgt über das Energiemanagement.

### **3.4.7 Lufthygiene und Bauphysik**

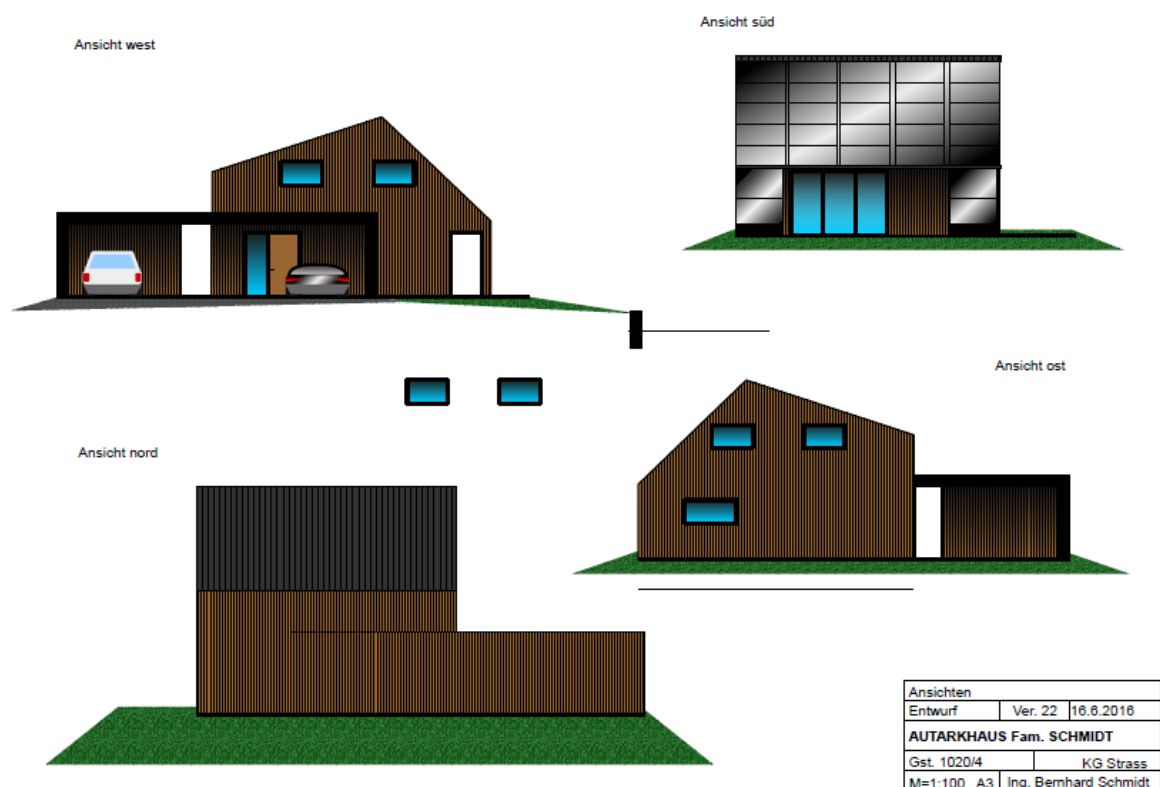
Um ein optimales Feuchtigkeitsmanagement und ausreichend Frischluftzufuhr zu gewährleisten, wird eine Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. Die Vorteile sind ein Komfortgewinn, da nicht ständig manuell gelüftet werden muss und die Rückgewinnung der in der Luft enthaltenen Wärme, die bei natürlicher Belüftung verloren geht.

## 4 Realisierbarkeit

### 4.1 Technische Realisierbarkeit

#### 4.1.1 Planungsgrundlagen

Aufschluss über die tatsächliche technisch-wirtschaftliche Realisierbarkeit eines Autarkhauses soll ein konkretes Berechnungsbeispiel geben.



Bei der Planung des Autarkhauses der Familie Schmidt wurde nach folgenden Grundsätzen vorgegangen.

#### Lage:

Das Grundstück liegt am nördlichen Eingang eines orographisch von Süd nach Nord verlaufenden Trogtales. Der Blick nach Süden und Norden ist frei. Im Osten

und Westen wird das Grundstück in 500 – 1000m Entfernung von den ansteigenden Bergrücken flankiert. Im Sommer hat dies keine Auswirkung auf die Sonnenscheindauer. Im Winter ist die Sonnenscheindauer etwas eingeschränkt. Ansonsten ist das Grundstück nach Süden hin unverschattet.

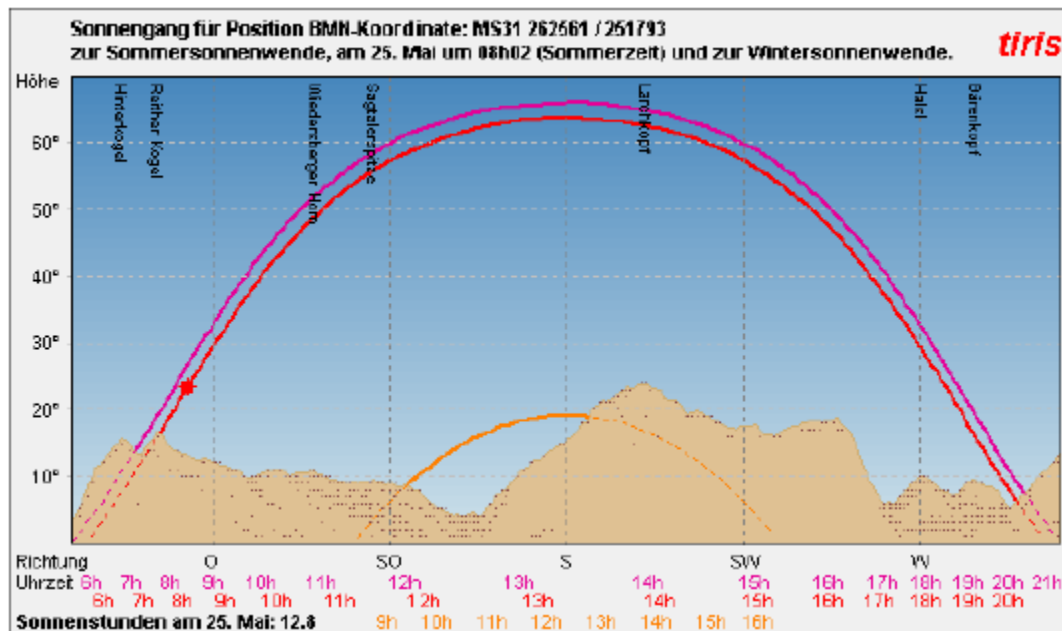


Abbildung 36 Sonnengang Grundstück Strass<sup>120</sup>

Die Sonnenscheindauer zur Wintersonnenwende liegt zwischen 09:30-13:00 Uhr. An einem sonnigen Tag können dabei überschlägig  $9\text{kWp} \cdot 3,5\text{h} = 31,5\text{kWh}$  erzeugt werden. Bereits Anfang Februar, wenn der westliche Bergrücken überschritten ist, scheint die Sonne 6 Stunden von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr. Das ergibt ein energetisches Potential von  $54\text{kWh/Tag}$ .

### Ausrichtung:

Der Giebel liegt in Ost-West-Richtung. Dadurch entsteht Südseitig eine große unverschattete Dachfläche, die für die Solarstromproduktion genutzt werden kann. Da in unseren Breitengraden der höchste Energiebedarf im Winterhalbjahr liegt, wird die südliche Dachfläche steil mit  $45^\circ$  angelegt. Bei der flachen Sonneneinstrahlung im Winter wären ca.  $60^\circ$  ideal. Mit der gewählten Neigung wird den gestalterischen Ansprüchen Rechnung getragen und zudem werden Baukosten durch eine kleinere Dachfläche und geringeres Bauvolumen eingespart.

<sup>120</sup> Abgerufen von (TIRIS - Tiroler Rauminformationssystem, 2016)

Nordseitig wird auf Fenster verzichtet. Süd-Ost und Westseitig kommen 3-fach-Wärmeschutz-verglaste Fenster zum Einsatz.

### **Gebäudekonstruktion:**

Das Gebäude wird in Holz-Massivbauweise mit außenliegender Dämmung und hinterlüfteter Fassade errichtet. Die Holzoberflächen innen sorgen für ein angenehmes Ambiente. Holzoberflächen fühlen sich wärmer an, als mineralische, wie z.B. Putz-Oberflächen. Im Zusammenhang mit der Behaglichkeit und der Infrarotheizung kann dies ein entscheidender Vorteil sein.

### **Dämmstandard:**

Dach und Außenwände werden mit ca. 30 bzw. 25 cm Zellulose Einblasdämmung gedämmt. Diese sorgt für Phasenverschiebung und Erhöhung der Gebäudemasse und ist zudem ein ökologischer Baustoff. Der erdberührte Boden wird mit ca. 20cm XPS gedämmt. Der Gebäudestandard soll unter dem baurechtlichen Mindestanforderungsniveau, im Bereich des Tiroler Wohnbauförderungsstandards liegen.

U-Werte (Berechnung lt. Anhang)

Wand 0,16 W/m<sup>2</sup>K

Dach 0,14 W/m<sup>2</sup>K

Erdberührter Boden 0,14 W/m<sup>2</sup>K

Fenster: 0,8-0,9 je nach Größe W/m<sup>2</sup>K

### **Energieversorgung:**

Eine PV-Anlage mit 9kWp auf dem südseitigen Dach sorgt für die Versorgung mit Wärme und Strom. Ein intelligentes Energiemanagement steuert Verbraucher bei Überschuss. So wird die Warmwassererzeugung, Geschirrspüler, Waschmaschine und letztlich auch die Heizung dann zugeschaltet, wenn überschüssiger Strom vorhanden ist. Nicht benötigter Strom wird im 8kWh Batteriespeicher gespeichert und weiterer Überschuss ins Netz abgegeben. Bei Unterversorgung wird Strom aus dem Netz bezogen.

### **Heizung und Warmwasserbereitung:**

Auf ein herkömmliches wassergeführtes Heizsystem wird verzichtet. Anstatt dessen kommen Elektroheizungen in Form von Infrarot-Paneelen und elektrische Fußbodenheizungen im Bad zum Einsatz. Die Warmwassererzeugung erfolgt mit Elektroboiler.

Die Heizung wird mit Einzelraumregelung ausgeführt, der Elektroboiler mit einer intelligenten Steuerung, die automatisch zwischen Solarstrom und Netzbezug wählt.

### **Bauphysik und Lufthygiene:**

Die Gebäudekonstruktion erfolgt diffusionsoffen. Die Holzkonstruktion aus massiven, verleimten Massivholzplatten (z.B. BBS) bildet gemeinsam mit abgedichteten Anschlussfugen die innere luft- und dampfdichte Ebene. Die dennoch ausdifferenzierende Feuchtigkeit wird durch die Hinterlüftungsebene abgeführt. Für den Luftaustausch und die Wärmerückgewinnung sorgt eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung.



Abbildung 37 Binder Brettschichtholz<sup>121</sup>

---

<sup>121</sup> (Binderholz, 2016)

## 4.1.2 Planung Gebäudestandard mit Energieausweis

### Gebäudedaten:

GEBÄUDEKENNDATEN					
Brutto-Grundfläche	161,5 m <sup>2</sup>	charakteristische Länge	1,31 m	mittlerer U-Wert	0,18 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Bezugs-Grundfläche	129,2 m <sup>2</sup>	Heiztage	187 d	LEK <sub>T</sub> -Wert	15,98
Brutto-Volumen	552,0 m <sup>3</sup>	Heizgradtage	3967 K·d	Art der Lüftung	RLT mit WRG
Gebäude-Hüllfläche	421,0 m <sup>2</sup>	Klimaregion	Region NF	Bauweise	mittelschwer
Kompaktheit(A/V)	0,76 m <sup>-1</sup>	Norm-Außentemperatur	-12,4 °C	Soll-Innentemperatur	20,0 °C

Abbildung 38 Gebäudekenndaten Autarkhaus mit PV und Lüftung; Darstellung aus Gebäudeprofi 3D

ANFORDERUNGEN (Referenzklima)					
Referenz-Heizwärmebedarf	52,6 kWh/m <sup>2</sup> a	erfüllt	HWB <sub>Ref,RK</sub>	36,8	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizwärmebedarf			HWB <sub>RK</sub>	21,0	kWh/m <sup>2</sup> a
End-/Lieferenergiebedarf	92,5 kWh/m <sup>2</sup> a	erfüllt	E/LEB <sub>RK</sub>	42,5	kWh/m <sup>2</sup> a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor			f <sub>GEE</sub>	0,37	
Erneuerbarer Anteil	erfüllt				
WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)					
Referenz-Heizwärmebedarf	5 985	kWh/a	HWB <sub>Ref,SK</sub>	37,1	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizwärmebedarf	3 203	kWh/a	HWB <sub>SK</sub>	19,8	kWh/m <sup>2</sup> a
Warmwasserwärmebedarf	2 063	kWh/a	WWWB	12,8	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizenergiebedarf	7 011	kWh/a	HEB <sub>SK</sub>	43,4	kWh/m <sup>2</sup> a
Energieauswandszahl Heizen			e <sub>AWZ, H</sub>	1,21	
Haushaltsstrombedarf	2 652	kWh/a	HHSB	16,4	kWh/m <sup>2</sup> a
Endenergiebedarf	6 017	kWh/a	EEB <sub>SK</sub>	37,3	kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf	18 946	kWh/a	PEB <sub>SK</sub>	117,3	kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	9 109	kWh/a	PEB <sub>n.em.,SK</sub>	56,4	kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf erneuerbar	9 837	kWh/a	PEB <sub>em.,SK</sub>	60,9	kWh/m <sup>2</sup> a
Kohlendioxidemissionen (optional)	1 661	kg/a	CO <sub>2,SK</sub>	10,3	kg/m <sup>2</sup> a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor			f <sub>GEE</sub>	0,37	
Photovoltaik-Export	4 807	kWh/a	PV <sub>Export,SK</sub>	29,8	kWh/m <sup>2</sup> a

Abbildung 39 Wärme und Energiebedarf Autarkhaus mit PV und Lüftung; Berechnet mit Gebäudeprofi 3D



Die Energieausweisberechnung ergibt einen Heizenergiebedarf von 7011 kWh/a. Dieser beinhaltet die Energie für Heizen und Warmwasser. Die Anzahl der Heiztage am Standort beträgt 223.

Der Haushaltsstrombedarf wird mit 2652 kWh im Jahr berechnet. Dieser teilt sich auf 360 Tage auf und beträgt 7,4 kWh/Tag.

Der Warmwasserbedarf beträgt 2063 kWh im Jahr und folglich 5,7 kWh pro Tag.

Summe Heizenergiebedarf in kWh/Monat													
Monat	Jän	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
Heizenergiebedarf	1276	916	674	334	276	267	276	276	267	361	852	1237	7011

Abbildung 40 Heizenergiebedarf Monatsbilanz Autarkhaus mit PV und Lüftung; Berechnet mit Gebäudeprofi 3D

	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<b>Heizenergiebedarf WW+Heizung in kWh</b>	1276	916	674	334	276	267	276	276	267	361	852	1237
<b>Tage pro Monat</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>kWh/d</b>	41,2	32,7	21,7	11,1	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	11,6	28,4	39,9
<b>Haushaltsstrombedarf</b>												
<b>Tage im Jahr</b>	2652	kWh										
<b>Haushaltsstrombedarf tägl. kWh</b>	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
<b>Gesamtenergiebedarf tägl. kWh</b>	48,5	40,1	29,1	18,5	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	19,0	35,8	47,3

Abbildung 41 Berechnung täglicher Gesamtenergiebedarf; Eigene Berechnung

### 4.1.3 Berechnung PV-Anlage

Für die Berechnung wurde die Verschattungssituation detailliert aus dem Horizontdiagramm Kap. 4.2.1 entnommen:

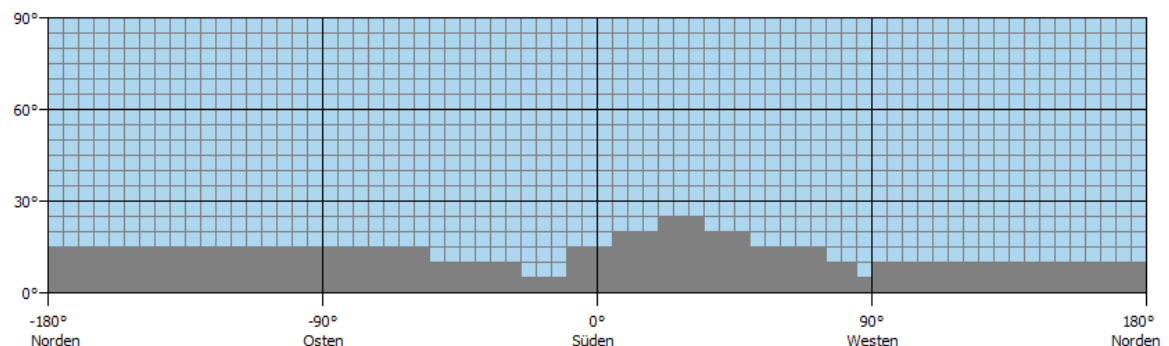


Abbildung 42 Beschattungssituation durch Gelände am Standort; Eigene Darstellung

Der jeweilige Tagesenergiebedarf aus Abbildung 42 wurde monatsweise hinter den Tageslastgang gelegt. (Abb. 44)

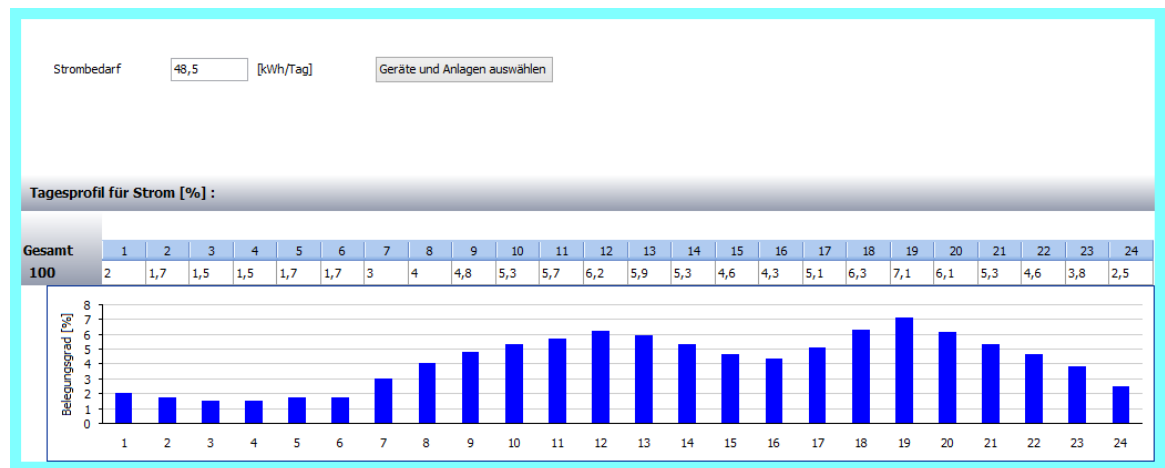


Abbildung 43 Autarkhaus-Tageslastprofil für Jänner; Abbildung aus ETU PV-Simulation

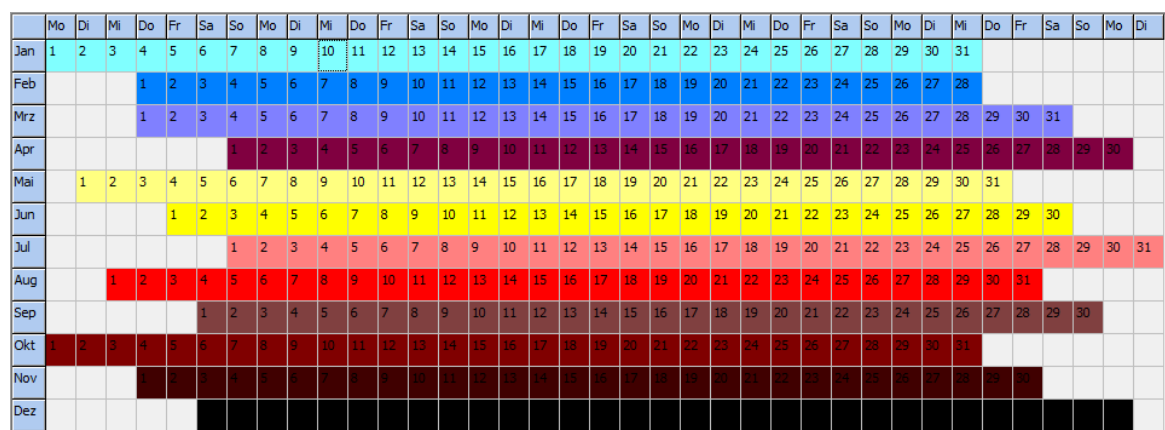


Abbildung 44 Autarkhaus - monatsweise unterschiedliche Lastprofile; Abbildung aus ETU-PV-Simulation

Der Warmwasserbedarf beträgt 5,7 kWh am Tag. Dafür ist ein 150 Liter Warmwasserspeicher ausreichend. Da die Warmwasserbereitung über eine intelligente Steuerung tagsüber erfolgt, kann dieser Energiebedarf der Speicherkapazität des Speichers hinzugerechnet werden. Um Verluste zu berücksichtigen, werden nur 5 kWh am Tag als zusätzliches Speichervolumen veranschlagt. Aus dem 8 kWh-Batteriespeicher wird so ein virtueller 13 kWh-Speicher.

Dimensionierung

Gesamte Bruttofläche: 49,2 m²

Gesamte Nennleistung: 9,0 kWp

Modulfeld 1

Modulfeld 3

15x LG Electronics Inc., LG300N1C-G3

1x Fronius International GmbH, Fronius Symo 4.5-3-S

Jahresergebnisse

Performance Ratio: 78,5 %

CO2 Einsparung: 5407 kg

Spezifischer Ertrag: 1120,0 kWh/kWp/a

Spezifischen Ergebnisse - Last

Eigenverbrauchsanteil: 57,4 %

Selbstversorgungsanteil: 59,6 %

Solarstromspeicherung

Nennkapazität Batterie: 13,4 kWh

Nutzkapazität Batterie: 12,7 kWh

Zyklusanzahl Batterie: 180 /a

Diagramme

Tabelle

Klimadaten

Bezeichnung

Ertrag/a

Einheit

Jan

Feb

Mrz

Apr

Mai

Jun

Jul

Aug

Sep

Okt

Nov

Dez

Globalstrahlung

1234,9

kWh/m²

37,3

54,9

104,4

132,6

169,7

170,4

173,7

145,8

108,3

76,1

36,4

25,3

Stromerzeugung

Bezeichnung

Ertrag/a

Einheit

Jan

Feb

Mrz

Apr

Mai

Jun

Jul

Aug

Sep

Okt

Nov

Dez

DC Ertrag PV-Anlage

10496

kWh

544

676

1042

1066

1178

1090

1155

1081

980

869

455

361

Stromverteilung

Bezeichnung

Ertrag/a

Einheit

Jan

Feb

Mrz

Apr

Mai

Jun

Jul

Aug

Sep

Okt

Nov

Dez

Netzbezug Lastdeckung

3924

kWh

1012

585

235

26

22

19

20

22

43

117

687

1135

Batterieentladung Lastdeckung

2266

kWh

139

206

279

224

183

168

184

200

209

240

148

86

PV Energie Lastdeckung

3517

kWh

353

331

389

305

301

302

301

283

237

231

239

245

PV Energie Netzeinspeisung

4045

kWh

12

89

304

469

628

556

608

530

475

341

33

0

PV Energie Batterieladung

2518

kWh

154

229

312

253

204

187

200

226

231

265

161

95

Abbildung 45 Ergebnis PV-Simulation Autarkhaus; Berechnet mit ETU PV-Simulation

Der Eigenverbrauchsanteil beträgt 57,4%, der Autarkiegrad knapp 60%.

Der Überschuss an erzeugtem Solarstrom beträgt 4054 kWh, der Netzbezug beläuft sich auf 3924 kWh.

	kWh	€/kWh	
Netzbezug	3924	0,20	<b>785</b>
Netzeinspeisung	4054	0,04	<b>-162</b>
			<b>623</b>

Tabelle 9 Saldo Jahresenergiekosten

Somit ergeben sich Jahres-Gesamtenergiekosten von € 623,- mit Einspeisung und € 785,- ohne Einspeisung.

## **4.2 Wirtschaftliche Realisierbarkeit**

### **4.2.1 Kosten**

Die Kosten für die gesamte Anlagentechnik ergeben sich folgendermaßen:

9 kWp-PV-Anlage

€ 15.000,- Erfahrungswert

Stromspeicher

€ 15.000,- Kostenschätzung Garabat

Elektro-Direktheizung inkl. Einzelraumregelung

€ 6.000,- Erfahrungswert

Elektro-Warmwasserboiler

€ 1.000,- Erfahrungswert

Smart Meter inkl. Energiemanagement

€ 1.000,- Erfahrungswert

Gesamtkosten:

€ 38.000,-

Alle Preise inkl. MwSt. inkl. Montage

### **4.2.2 Rentenbarwerte - Annuitäten**

Um die Kosten für das Autarkhaus mit anderen Konzepten Vergleichen zu können, wurden die Barwerte für unterschiedliche Betrachtungsräume und Zinssätze berechnet.

Nutzungsdauer		15		20		30	
Kalkulationszins		2%	5%	2%	5%	2%	5%
PV-Anlage	15 000,00 €	1 167,38 €	1 445,13 €	917,35 €	1 203,64 €	669,75 €	975,77 €
Batteriespeicher	15 000,00 €	1 167,38 €	1 445,13 €	917,35 €	1 203,64 €	669,75 €	975,77 €
Elektro-Heizung	6 000,00 €	466,95 €	578,05 €	366,94 €	481,46 €	267,90 €	390,31 €
Elektro-Boiler	1 000,00 €	77,83 €	96,34 €	61,16 €	80,24 €	44,65 €	65,05 €
Smartmeter/Steuerung	1 000,00 €	77,83 €	96,34 €	61,16 €	80,24 €	44,65 €	65,05 €
Wartungskosten	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
Eigenverbrauch	4 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Einspeisung (-)	4 000,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €	160,00 €
Bezug	3 900,00 €	780,00 €	780,00 €	780,00 €	780,00 €	780,00 €	780,00 €
Kapitalgebundene Kosten		2 957,37 €	3 661,01 €	2 323,96 €	3 049,22 €	1 696,70 €	2 471,95 €
Betriebsgebundene Kosten		720,00 €	720,00 €	720,00 €	720,00 €	720,00 €	720,00 €
Annuität		<b>3 677,37 €</b>	<b>4 381,01 €</b>	<b>3 043,96 €</b>	<b>3 769,22 €</b>	<b>2 416,70 €</b>	<b>3 191,95 €</b>

Tabelle 10 Annuitäten Autarkhaus; Eigene Berechnung

## 4.2.3 Kostenvergleich

VOLLKOSTENVERGLEICH für neue Heizsysteme in Österreich - ÖNORM M7140:						20.06.2016	
Modernisierungsbeispiel einer Heizungsanlage in einem EFH:				Wohnfläche:		150 m <sup>2</sup>	
				Heizlast:		12 kW	
				Nutzwärmebedarf:		15.000 kWh / Jahr	
				Kapitalverzinsung:		2,0 Prozent	
				Betrachtungszeitraum:		15 Jahre	
	Heizöl EL	Erdgas	Pellets	Brennholz	Flüssiggas	Fernwärme	Erdwärme
	in Liter	in kWh	in kg	in m <sup>3</sup>	in Liter	in kWh	in kWh
Kaufpreis in € / Einheit	0,637	0,0681	0,222	75,57	0,496	0,0756	0,147
Heizwert in kWh je Einheit	10,0	1,0	4,8	1.960	6,6	1,0	1,0
Nutzungsgrad in %	96%	96%	84%	75%	96%	98%	AZ 1 : 3,3
Brennstoffbedarf in Einheit	1.563	17.344	3.720	10	2.367	15.306	4.545
Brennstoffbedarf in kWh	15.625	17.344	17.857	20.000	15.625	15.306	4.545
Abfüllpauschale	37,17		39,70	35,00	25,10		
Zählermiete - Messpreis in € / Jahr		18,72				99,05	32,17
Abnahmepauschale in € / Jahr		61,43					62,34
Leistungspreis in € / kWh / Jahr						27,93	
Hilfsenergie € / Jahr	56,64	8,94	81,97		8,94		
verbrauchsgeb. Kosten € / Jahr	1.089,7	1.270,9	947,6	806,1	1.207,6	1.590,8	763,8
kapitalgeb. Kosten in € gesamt	9.075	11.875	21.000	16.575	9.900	13.375	23.875
kapitalgeb. Kosten € / Jahr	686	803	1.537	1.251	770	717	1.494
betriebsgeb. Kosten in € / Jahr	220	219	370	450	200	119	92
Gesamtkosten in € / Jahr	1.996	2.292	2.855	2.507	2.178	2.427	2.350
Vergleich in Prozent	100%	115%	143%	126%	109%	122%	118%

Abbildung 46 Vollkostenvergleich IWO<sup>122</sup>

<sup>122</sup> (IWO-Austria, 2016)

## Berechnungsgrundlage des IWO:

### Vollkostenvergleich nach ÖNORM M 7140 - Barwertmethode

Wohnfläche: 150 m<sup>2</sup>

Heizlast: 12 kW

Wärmebedarf 1.500 kWh/Jahr<sup>123</sup>

Kapitalverzinsung: 2%

Betrachtungszeitraum: 15 Jahre

Preise inkl. aller Steuern. Quellen: WKÖ, propellets, AK, LWK, Handel, 9 Landesenergieversorger, HmÖ

Zu beachten ist, dass dieser Vollkostenvergleich für eine Sanierung und nicht für den Neubau aufgestellt wurde, weshalb die gesamten Kosten für Energieverteilung und Energieabgabe fehlen.

Geht man von Kosten für das Verteilsystem von ca. €15.000,- aus, ergibt sich bei ansonsten selben Berechnungsparametern:

		Heizöl EL	Erdgas	Pellets	Brennholz	Flüssiggas	Fernwärme	Erdwärme
Kosten Heizsysteme		1 996,00 €	2 292,00 €	2 855,00 €	2 507,00 €	2 178,00 €	2 427,00 €	2 350,00 €
Kosten Verteilsystem und Wärmeabgabe	15 000,00 €							
Annuität Verteilsystem		1 256,50 €	1 256,50 €	1 256,50 €	1 256,50 €	1 256,50 €	1 256,50 €	1 256,50 €
Stromkosten Einfamilienhaushalt		530,40 €	530,40 €	530,40 €	530,40 €	530,40 €	530,40 €	530,40 €
Gesamtkosten		<b>3 782,90 €</b>	<b>4 078,90 €</b>	<b>4 641,90 €</b>	<b>4 293,90 €</b>	<b>3 964,90 €</b>	<b>4 213,90 €</b>	<b>4 136,90 €</b>
Kalkulationszins	3%							
Nutzungsdauer	15 Jahre							
Stromverbrauch*	2 652 kWh							
Strompreis	0,20 €							
* Aus Autarkhausberechnung								

Tabelle 11 Eigene Berechnung Annuität inkl. Kosten Verteilsystem

<sup>123</sup> Anmerkung Autor: Entspricht ca. einem HWB von 50kWh/m<sup>2</sup>a (Erfahrungswert)

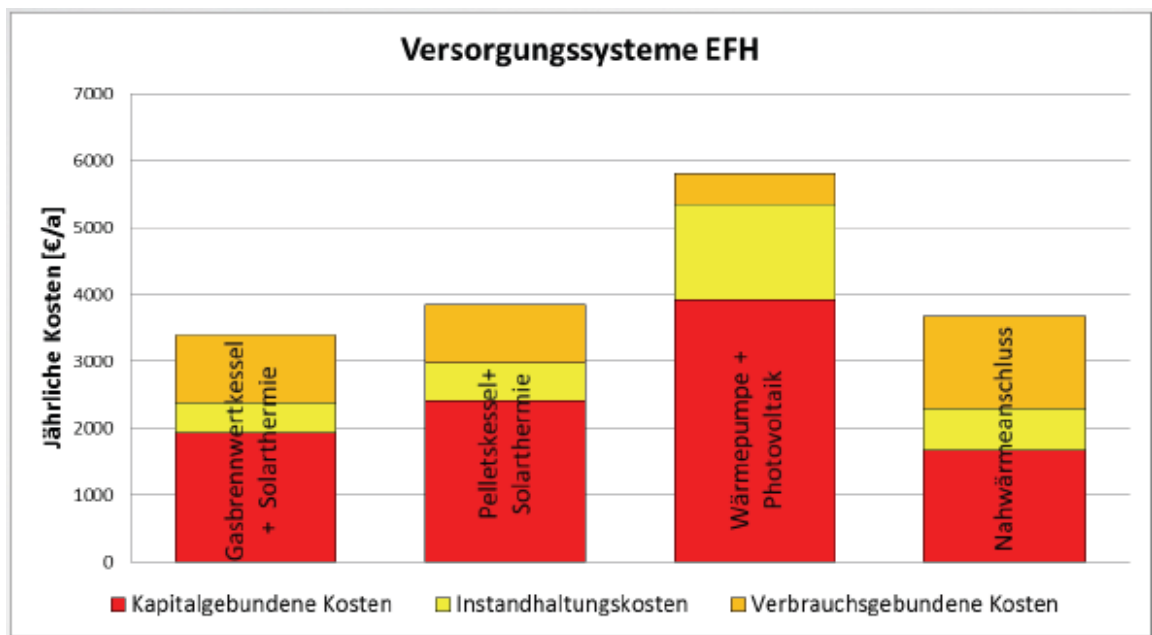


Abbildung 47 Vollkostenvergleich Energieagentur<sup>124</sup>

Berechnungsgrundlage der Energieagentur:

Berechnung in Form der ÖNORM 7140 bzw. VDI 2067<sup>125</sup>

BGF: 160 m<sup>2</sup>

HWB: 43,8 kWh/m<sup>2</sup>a

Kalkulationszins: 5%

Betrachtungszeitraum: 20 Jahre

Energiepreissteigerung: 3%

Energiepreise Stand 2013 und Investitionskosten von führenden Herstellern, Stand 2013

Die Betriebskosten beinhalten lediglich die Kosten für Raumwärme und Warmwasser. Um einen Vergleich mit dem Autarkhaus durchführen zu können, werden diese um die jährlichen Stromkosten ergänzt.

<sup>124</sup> (Simader, 2013)

<sup>125</sup> Anmerkung Autor: Berechnung Barwerte/Annuitäten

	Gas + Solar	Pellets + Solar	Wärmepumpe + PV	Nahwärme
Kosten Heizsysteme	3 400,00 €	3 900,00 €	5 900,00 €	3 700,00 €
Stromkosten Einfamilienhaushalt	530,40 €	530,40 €	530,40 €	530,40 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>3 930,40 €</b>	<b>4 430,40 €</b>	<b>6 430,40 €</b>	<b>4 230,40 €</b>
Nutzungsdauer	20 Jahre			
Stromverbrauch*	2 652 kWh			
Strompreis	0,20 €			
* Aus Autarkhausberechnung				

Tabelle 12 Eigene Berechnung Gesamtkosten inkl. Strom

Der Vergleich der annuitätischen Gesamtkosten des Autarkhauses im 15 jahresvergleich mit 2% Verzinsung ergibt, dass das Autarkhaus mit ca. € 100,- Vorsprung das günstigste System ist.

Im Vergleich auf 20 Jahre bei 5% Zins, zählt das Autarkhaus mit € 3.700,- die jährlich zu Buche schlagen, als günstigstes System.

Kapitalkosten Heizsysteme*	35 000,00 €	2 808,49 €
Energiekosten Raumwärme + Warmwasser		436,00 €
Energiekosten Raumwärme + Warmwasser		650,00 €
Wartungs und Betriebskosten	100,00 €	100,00 €
Stromkosten Einfamilienhaushalt		530,40 €
<b>jährliche Gesamtkosten von</b>		<b>3 874,89 €</b>
<b>jährliche Gesamtkosten bis</b>		<b>4 088,89 €</b>
Kalkulationszins	5%	
Nutzungsdauer	20 Jahre	
Stromverbrauch*	2 652 kWh	
Strompreis	0,20 €	
* Aus Kap. 2.4.4		

Tabelle 13 Eigene Berechnung; Jährliche Kosten Niedrigstenergiehaus

Vergleicht man die jährlichen Gesamtkosten des Autarkhauses mit den in Kap. 2.3 berechneten Niedrigstenergiehäusern zuzüglich Kapitalkosten, Wartungskosten und Stromkosten, liegt das Autarkhaus knapp darunter.

Ein längerer Vergleichszeitraum und höhere Energiepreise wirken sich für das Autarkhaus noch günstiger aus.



## 5 Schluss

Natürlich unterliegt die vorliegende Untersuchung gewissen Randbedingungen und Annahmen. Unschärfen bei den Kosten sind jedenfalls projektspezifisch, individuell durch Einholung konkreter Offerte zu reduzieren. Eine Raumtemperatur von 20°C mag hinsichtlich Kuschelwärme durchaus kritisch betrachtet werden. Da dieses Temperaturniveau der OIB RL 6 entspringt liegen sämtlichen Berechnungen dem zu Grunde. Auch Passivhäuser werden auf 20°C geplant, was die Vergleichbarkeit der Gebäudekonzepte wieder gewährleistet. Andererseits ist es durchaus vorstellbar, dass gerade hinsichtlich IR-Strahlung und Behaglichkeitsdiagramm die gewünschte operative Temperatur sogar schon unter 20°C eintritt.

### 5.1 Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit hat zu dem Ergebnis geführt, dass Häuser mit Batteriespeichern in der Zukunft eine tragende Rolle in der Energiewende spielen werden. Bereits heute können Batteriespeicher in virtuellen Kraftwerken Regelleistung zur Verfügung stellen und Stromspitzen abschneiden. Insbesondere die emotionale Seite beim Bau eines privaten Wohnhauses befriedigt der Batteriespeicher mit mehr Unabhängigkeit und Sicherheit bei Stromausfällen. Unter bestimmten Umständen kann ein Stromspeicher in Kombination mit einer PV-Anlage, unabhängig vom Gebäudekonzept wirtschaftlich betrieben werden.

Unter den gegebenen Umständen kann das beispielhaft angeführte Autarkhaus technisch realisiert werden. Vergleicht man den erzeugten Jahresertrag der PV-Anlage mit dem Energiebedarf, ergibt sich ein Überschuss. Bei entsprechend großem Speicher oder in einem virtuellen Strompool ist ein 100% energieautarkes Haus realisierbar – wenn man im zweiten Fall die Definition der Autarkie über die Grundstücksgrenze ausweitet.

Das geplante Gebäude hingegen erreicht einen Autarkiegrad von knapp 60% ohne besondere bauliche Maßnahmen. Einzig die Geometrie und die Ausrichtung wurden dem Konzept untergeordnet.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist das Autarkhaus in allen Kostenvergleichen überlegen. Auffällig ist, dass bei heutigen Gebäudestandards die Heizkosten unabhängig vom Heizsystem ähnlich groß sind. Die Anschaffungskosten, Wartungskosten, Kosten für Raum und Kamin, Abfüllgebühren, Anschlussgebühren schlagen sich deutlich höher auf die Annuitäten nieder. Das Autarkhaus profitiert dabei eindeutig von den niedrigen Kosten der Elektro-direkt-Heizung.

## **5.2 Maßnahmen**

Aus politischer Sicht ist es jedenfalls entscheidend, dass die Energiewende fortgesetzt wird. Dies ist entscheidend dafür, dass sich die Rahmenbedingungen für Energieautarke Häuser etablieren können. Für Speicherhersteller wird es entscheidend sein, die Herstellkosten weiter zu senken, um den Stromspeicher für jedermann wirtschaftlich einsetzen zu können. Ein weiterer Schritt hierzu können Förderungen sein. Für Energiespeicher-Hersteller ist es ein guter Zeitpunkt, um ihren Vertrieb auszubauen und Marktanteile zu gewinnen.

## **5.3 Konsequenzen**

Insbesondere Hersteller und Lieferanten von gebäudetechnischen Systemen sollten rechtzeitig auf die neuen Voraussetzungen reagieren. Neue Konzepte mit Batteriespeicher, Elektroheizung und PV-Anlagen liegen wie im berechneten Beispiel kostenseitig bereits unter konventionellen und hocheffizienten alternativen Systemen. „Die Autarkie gibt's gratis dazu.“

Für die Heizungs- und Hausbaubranche bedeutet dies, dass das Portfolio jeden Falls um die Vorteile von Batteriespeichern erweitert werden sollte. Auch für Gebäudekonzepte mit hocheffizienten Passivhaushüllen bedeutet dies, dass einzig die effiziente Nutzung von Energie nicht ausreicht, um gegenüber modernen Gebäuden mit eigener Energieerzeugung und sehr hohem Unabhängigkeitsgrad zu bestehen.

#### IV. Literaturverzeichnis

(EMMI), E. M. (Hrsg.). (2014). *EMMI*. Abgerufen am 24. 04 2016 von <http://www.emmi-benchmarks.eu/>

*aktivplus*. (10. 05 2016). (AktivPlus e.V.) Von <http://www.aktivplusev.de/> abgerufen

Auer, T. (07/08 2015). Aktiv versus Passiv. *Gebäude Energieberater*.

Auer, U.-P. D. (2004). *SWK Sonderheft Kennzahlen für die Praxis*. Wien: Linde Verlag.

Austrian Standards Institute. (2003). *ÖNORM B8110-2 Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*.

Austrian Standards Institute. (01. 03 2011). Wärmeschutz im Hochbau, Teil 5 - Klimamodell und Nutzungsprofile. *ÖNORM B8110-5*. Wien: Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON).

*Binderholz*. (2016). (Binderholz GmbH) Abgerufen am 05. 07 2016 von <http://www.binderholz.com/basisprodukte/brettsperrholz-bbs/>

Bundesgesetz über die Pflicht zur Vorlage eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestand-Gabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten (Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012 – EAVG 2012). (20. 04 2012). Wien.

Bundesministerium für Umwelt, N. B. (2016). *Wege zum Effizienzhaus Plus*. Berlin.

Bundesministerium für Wissenschaft, F. u. (Hrsg.). (2016). *Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft*. Abgerufen am 24. 04 2016 von <http://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiepreise/Seiten/MonitorTreibstoff.aspx?Report=1>

Bundesverband Solarwirtschaft. (09. 06 2015). *Bundesverband Solarwirtschaft*. Abgerufen am 03. 07 2016 von <https://www.solarwirtschaft.de/presse/pressemeldungen/pressemeldungen>

-im-detail/news/preisrutsch-bei-speichern-ermoeglicht-energiewende-20.html

Bundesverband Solarwirtschaft. (21. 06 2016). *Bundesverband Solarwirtschaft*.

Abgerufen am 03. 07 2016 von

<https://www.solarwirtschaft.de/presse/pressemeldungen/pressemeldungen-im-detail/news/solarspeicher-preise-um-ein-drittel-gefallen.html>

Deuschle , J., Hauser, W., Sonnberger , M., Tomaschek, J., Brodecki, L., & Fahl, U. (1. 10 2015). Energie-Autarkie und Energie-Autonomie in Theorie und Praxis. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*(39).

E-Control. (25. 08 2015). *E-Control*. Abgerufen am 06. 01 2016 von [http://www.e-control.at/documents/20903/388512/2015\\_08\\_25\\_AuSD\\_Ver%C3%B6ffentlichung2015\\_v1.0.pdf/2f65dc6e-d1e0-446a-9607-d6472dd12650](http://www.e-control.at/documents/20903/388512/2015_08_25_AuSD_Ver%C3%B6ffentlichung2015_v1.0.pdf/2f65dc6e-d1e0-446a-9607-d6472dd12650)

*Energieinstitut Vorarlberg*. (26. 12 2015). Von

<http://www.energieinstitut.at/buerger/haustechnik-energieversorgung/die-richtige-heizung-finden/welche-heizung-passt-zu-meinem-haus-die-heizmatrix/> abgerufen

Feist, P. D. (Hrsg.). (2015). *Passivhausinstitut*. Abgerufen am 24. 04 2016 von [http://www.passiv.de/de/02\\_informationen/02\\_qualitaetsanforderungen/02\\_qualitaetsanforderungen.htm](http://www.passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm)

Gerhard Moritz, B. f., Wilhelm Schlader, E. V., & Peter Haftner, E. u. (2015). Erneuerbare Wärme für Eigenheime - Eine Entscheidungshilfe für die Auswahl ihres optimalen Heizsystems. 3. Auflage. (U. u. Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Hrsg.) Wien. Abgerufen am 26. 12 2015 von <http://www.klimaaktiv.at/haushalte/wohnen/heizung.html>

Haas, K.-H. (2013). *Der Weg zum Null-Energiehaus*. Berlin: VDE VERLAG GMBH.

Haigermoser Ernst, Amt der Salzburger Landesregierung . (12. 11 2015). *Österreichische PVA-Speichertagung*. Tech Gate Vienna, Wien.

Hegger, M., Fafflock, C., Hegger , J., & Passig, I. (2013). *Aktivhaus - Das Grundlagenwerk - Vom Passivhaus zum Energieplushaus*. München: Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG.

- htw Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin*. (2016). Abgerufen am 06. 07 2016 von Unabhängigkeitsrechner: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>
- Initiative Sonnenhaus Österreich, Linz. (2012). *Sonnenhaus - Das Energiekonzept der Zukunft*. Abgerufen am 06. 07 2016 von [http://www.sonnenhaus.co.at/Media/490856a6-ee37-422f-bff2-0e5e02dd34f0/downloads/20120612\\_FAQs\\_Das\\_Sonnenhaus\\_final1.pdf](http://www.sonnenhaus.co.at/Media/490856a6-ee37-422f-bff2-0e5e02dd34f0/downloads/20120612_FAQs_Das_Sonnenhaus_final1.pdf)
- IWO-Austria*. (20. 06 2016). Abgerufen am 07. 07 2016 von [http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user\\_upload/kostenvergleich/Vollkostenvergleich.pdf](http://www.iwo-austria.at/fileadmin/user_upload/kostenvergleich/Vollkostenvergleich.pdf)
- Kah, O., & Feist, W. (2005). *Wirtschaftlichkeit von Wärmedämmmaßnahmen im Gebäudebestand 2005*. Passivhausinstitut Darmstadt, Darmstadt. Abgerufen am 24. 04 2016 von [http://www.passiv.de/downloads/05\\_wirtschaftlichkeit\\_wdmgb2005.pdf](http://www.passiv.de/downloads/05_wirtschaftlichkeit_wdmgb2005.pdf)
- Kondziella, H., Brod, K., Bruckner, T., Olbert, S., & Mes, F. (08 2013). Stromspeicher für die „Energiewende“ – eine akteursbasierte Analyse der zusätzlichen Speicherkosten. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*.
- Korthauer, Reiner, & et al. (2013). *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lorenz Behälterbau*. (2016). Abgerufen am 06. 07 2016 von Sonnenhaus-Speicher 2500 - 100000l : <http://lorenz-behaelterbau.de/wp-content/uploads/sonnenhaus-speicher.pdf>
- (2014). *Metastudie - Energiespeicher*. Fraunhofer UMSICHT und Fraunhofer IWES, Oberhausen und Kassel.
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2011). Leitfaden energietechnisches Verhalten von Gebäuden. (2011). (Ö. I. Bautechnik, Hrsg.) Abgerufen am 12. 08 2015 von [http://www.oib.or.at/sites/default/files/lf6\\_301211\\_revision.pdf](http://www.oib.or.at/sites/default/files/lf6_301211_revision.pdf)
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2011). OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. (2011). Abgerufen am 06. 07 2016 von [https://www.oib.or.at/sites/default/files/rl6\\_061011\\_2.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/rl6_061011_2.pdf)

- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2011). OIB-Richtlinien Begriffsbestimmungen. (2011). (O.-Ö. I. Bautechnik, Hrsg.) Abgerufen am 12. 08 2015 von [http://www.oib.or.at/sites/default/files/bb\\_061011.pdf](http://www.oib.or.at/sites/default/files/bb_061011.pdf)
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2015). OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. (2015). (O.-Ö. I. Bautechnik, Hrsg.) Abgerufen am 12. 08 2015 von <http://www.oib.or.at/de/guidelines/oib-richtlinie-6-0>
- Österreichs Energie. (2015). Abgerufen am 03. 07 2016 von <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/Strompreis.html>
- Österreichs E-Wirtschaft. (2013). *Österreichs Energie*. Abgerufen am 02. 07 2016 von <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/die-welt-der-e-wirtschaft/smart-grids-die-stromnetze-der-zukunft.html>
- Österreichs E-Wirtschaft. (2013). *Österreichs Energie*. Abgerufen am 02. 07 2016 von <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/die-welt-der-e-wirtschaft/smart-grids-die-stromnetze-der-zukunft.html>
- Passivhausinstitut Darmstadt (Hrsg.). (15. 05 2015). *Passipedia - Die Wissensdatenbank*. Abgerufen am 24. 04 2016 von [http://passipedia.de/grundlagen/wirtschaftlichkeit/wirtschaftlichkeit\\_von\\_baulichen\\_energiesparmassnahmen/sind\\_passivhaeuser\\_wirtschaftlich](http://passipedia.de/grundlagen/wirtschaftlichkeit/wirtschaftlichkeit_von_baulichen_energiesparmassnahmen/sind_passivhaeuser_wirtschaftlich)
- Planck, M. (1887). *Das Princip der Erhaltung der Energie*. Leipzig: B. G. Teubner.
- Quaschnig, V. (2015). *volker-quaschnig.de*. Abgerufen am 27. 05 2016 von <http://volker-quaschnig.de/datserv/pv-deu/index.php>
- Rongen, L., Schulze Darup, B., Tribus, M., & Vallentin, G. (Hrsg.). (2015). *Passiv-, Nullenergie- oder Plusenergiehaus - Energiekonzepte im Vergleich*. Augsburg: WEKA MEDIA GmbH & Co. KG.
- Schoof, J. (26. 06 2013). *DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail*. Abgerufen am 03. 07 2016 von <http://www.detail.de/artikel/stromspeichers-fuers-haus-zukunftstechnologie-oder-geldverschwendung-10718/>
- Schwab, A. (2015). *Elektroenergiesysteme* (Bde. 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage). Karlsruhe: Springer Vieweg.

Schwarzburger, H. (2014). *Energie im Wohngebäude - effiziente Versorgung mit Strom und Wärme*. Berlin: VDE VERLAG GMBH.

Sedlak, W. (2015). *Voltimum*. (V. GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 08. 12 2015 von <http://www.voltimum.at/articles/ausblick-energie-speichern-wird-billiger>

Sedlak, W. (08. 12 2015). *Voltimum*. Abgerufen am 03. 07 2016 von <http://www.voltimum.at/articles/ausblick-energie-speichern-wird-billiger>

Siegele, K. (07/08 2015). Aktiv versus Passiv - Was leistet der AktivPlus Standard? *Gebäude Energieberater*, S. 67.

Simader, G. (08. 05 2013). Heizsysteme im Vollkostenvergleich. (Ö. Energieagentur, Hrsg.) Wien, Urania. Abgerufen am 07. 07 2016

Sobek, W. (2015). *Aktivhaus B10 by Werner Sobek*. (F. Heinlein, Hrsg.) Stuttgart.

Solarwatt. (2016). *Solarwatt*. Abgerufen am 03. 07 2016 von <https://www.solarwatt.de/komponenten/stromspeicher/myreserve-500>

Sonnen. (2016). (sonnen GmbH) Abgerufen am 07. 07 2016 von Sonnencommunity: <https://www.sonnenbatterie.de/de/sonnenCommunity>

Sonnenhausinstitut e.V. Straubing. (2004-2016). Abgerufen am 06. 07 2016 von Häufig gestellte Fragen: <http://www.sonnenhaus-institut.de/das-sonnenhaus/solarheizung-solartechnik-fragen.html>

Statistik Austria. (05. 04 2016). Abgerufen am 24. 04 2016 von [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/produktion\\_und\\_bauwesen/konjunkturdaten/baupreisindex/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/produktion_und_bauwesen/konjunkturdaten/baupreisindex/index.html)

Stromspeicher.org. (18. 06 2015). Abgerufen am 13. 02 2016 von <http://www.strom-speicher.org/stromspeicher-preise/>

TIRIS - Tiroler Rauminformationssystem. (2016). Abgerufen am 25. 05 2016 von Sonnenstunden: <http://www.tirisdienste.at/scripts/esrimap.dll?name=sonne&MyAufl=1024&Left=261427&Bottom=251247&Right=263689&Top=252573&Mst=10001&MapIDX=1&HiGr=6&AppPar=0&Cmd=ZoomIn&click.x=441&click.y=290>

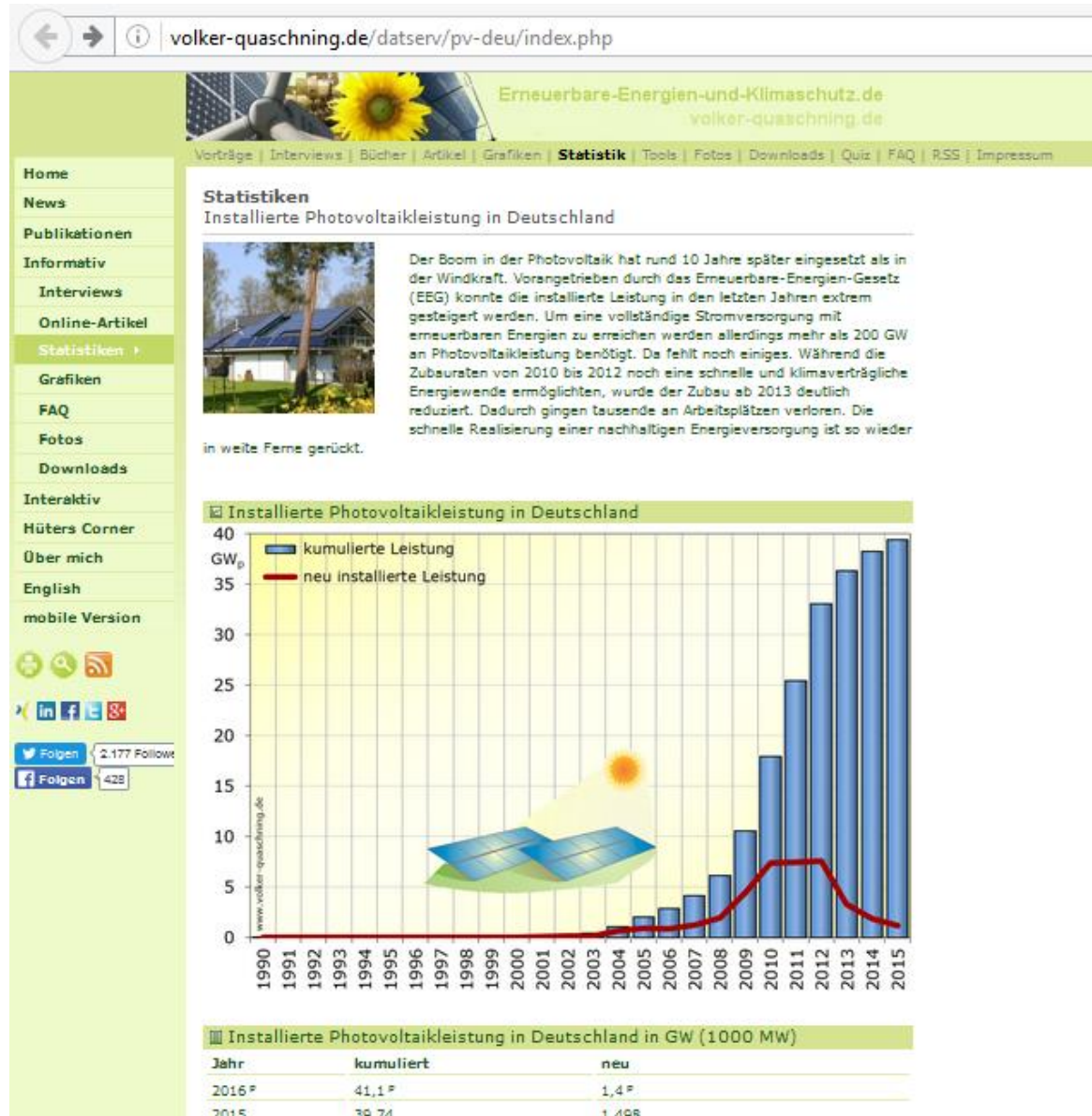
- Tiroler Landesregierung. (18. 12 2007). Technische Bauvorschriften 2008 -LGBI. Nr. 93/2007. *Verordnung der Landesregierung vom 18. Dezember 2007 über die bautechnischen Erfordernisse für bauliche Anlagen*. Innsbruck, Tirol. Von <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrT&Gesetzesnummer=10000286> abgerufen
- Tiroler Landesregierung. (28. 06 2011). Tiroler Bauordnung 2011. Innsbruck.
- Usemann, K. W. (2005). *Energieeinsparende Gebäude und Anlagentechnik - Grundlagen, Auswirkungen, Probleme und Schwachstellen, Wege und Lösungen bei der Anwendung der EnEV*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag .
- Vogler Franz. (20. 11 2012). Fragen und Antworten zum Energieausweis zur Erfüllung der Bestimmungen nach dem EAVG 2012. (A. d. Landesregierung, Hrsg.) Innsbruck.
- Watter, H. (2015). *Regenerative Energiesysteme - Grundlagen, Systemtechnik und Analysen ausgeführter Beispiele nachhaltiger Energiesysteme* (4. überarbeitete und erweiterte Auflage Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Wesselak, V., & Schabbach, T. (2009). *Regenerative Energietechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wikipedia. (19. 03 2016). Abgerufen am 17. 04 2016 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Energieerhaltungssatz>
- Wikipedia. (30. 03 2016). Abgerufen am 24. 04 2016 von [https://de.wikipedia.org/wiki/Heiz%C3%B6l#Heiz.C3.B6l\\_leicht](https://de.wikipedia.org/wiki/Heiz%C3%B6l#Heiz.C3.B6l_leicht)
- Willems, W., Schild, K., & Dinter, S. (2006). *Vieweg Handbuch Bauphysik - Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung* (Teil 1 Ausg.). Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn Verlag.
- Wöhe, D. D. (2008). *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (23., vollständig neu bearbeitete Auflage Ausg.). München: Franz Vahlen GmbH.



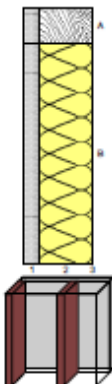
- Wöhe, G., & Döring, U. (2013). *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (25., überarbeitete und aktualisierte Auflage Ausg.). München: Verlag Franz Vahlen GmbH.
- Wosnitza, F., & Hilgers, H. (2012). *Energieeffizienz und Energiemanagement - Ein Überblick über heutige Möglichkeiten und Notwendigkeiten*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Ziegenbein, P. D. (2002). *Controlling* (7., überarbeitete und erweiterte Auflage Ausg.). (P. D.-K. Olfert, Hrsg.) Leipzig: Friedrich Kiehl Verlag GmbH.

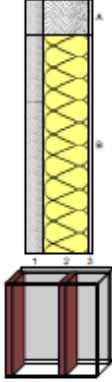
## V. Anlagen


### A. Screenshot Website Volker Quaschning





## B. U-Wertberechnungen Autarkhaus


<b>Bauteil:</b>	Dachfläche				Fläche / Ausrichtung :				66,20 m²	S	
	Dachfläche								66,20 m²	N	
	Nr. Baustoff		Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand					
			cm	W/(mK)	kg/m³	m²K/W					
	1	Binderholz Brettsperrholz BBS (Fichte) (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142705766) Gefach - Stützen- / Balkenbreite: 8,0 cm; Zwischenraum (Füllung): 50,0 cm	8,00	0,120	470,0	0,67					
	2	13,8%: Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142715290) 86,2%: ISOCELL Zellulosefaserdämmstoff (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142665260)	30,00	0,120	475,0	2,50					
				0,039	54,0	7,69					
	3	Polymerbitumen-Dichtungsbahn (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142664261)	0,40	0,230	1100,0	0,02					
	Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Abschnitte (siehe Skizze)						$R_{s,A} = 3,18$ $R_{s,B} = 8,38$ $R_{s,ges} = 6,77$				
							$R_{si} = 0,10$ $R_{se} = 0,04$ U - Wert 0,14 W/m²K				
	Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust		wirksame Wärmespeicherefähigkeit					
	132,40 m²		31,5 %	75,6 kg/m²	19,17 W/K	25,8 %	$C_{w,B} = 4630$ kJ/K $m_{w,B} = 4423$ kg				

<b>Bauteil:</b>	Außenwand				Fläche / Ausrichtung :				26,58 m²	S	
	Außenwand								41,42 m²	O	
	Außenwand								38,34 m²	N	
	Außenwand								43,88 m²	W	
	Nr. Baustoff		Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand					
			cm	W/(mK)	kg/m³	m²K/W					
	1	Binderholz Brettsperrholz BBS (Fichte) (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142705766) Gefach - Stützen- / Balkenbreite: 8,0 cm; Zwischenraum (Füllung): 50,0 cm	10,00	0,120	470,0	0,83					
	2	13,8%: Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142715290) 86,2%: ISOCELL Zellulosefaserdämmstoff (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142665260)	25,00	0,120	475,0	2,08					
				0,039	54,0	6,41					
	3	AGEPA® DWD protect (Katalog "baubook", Band: 25.05.2016, Kennung: 2142666066)	1,60	0,090	565,0	0,18					
	Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Abschnitte (siehe Skizze)						$R_{s,A} = 3,09$ $R_{s,B} = 7,42$ $R_{s,ges} = 6,12$				
							$R_{si} = 0,13$ $R_{se} = 0,04$ U - Wert 0,16 W/m²K				
	Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust		wirksame Wärmespeicherefähigkeit					
	150,22 m²		35,7 %	84,1 kg/m²	23,88 W/K	32,2 %	$C_{w,B} = 4789$ kJ/K $m_{w,B} = 4575$ kg				

Baufeld:		Bodenplatte				Fläche : 114,66 m²	
	Nr.	Baustoff	Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand	
			cm	W/(mK)	kg/m³	m²K/W	
	1	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714802)	4,00	1,100	1800,0	0,04	
	2	Dichtungsbahn Polyethylen (PE) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142712507)	0,02	0,500	980,0	0,00	
	3	EPS-T 650 graulichwarz (11 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714808)	3,00	0,033	11,0	0,91	
	4	Gebundenes EPS-(NEU) Granulat Typ BEPS-WD (82 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142715067)	7,00	0,050	82,0	1,40	
	5	Polymerbitumen-Dichtungsbahn (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142854391)	0,40	0,230	1100,0	0,02	
	6	Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714807)	20,00	2,300	2300,0	0,09	
	7	XPS-G 50 80 bis 100 mm (38 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714946)	16,00	0,037	38,0	4,32	
						$R_s = 8,77$	
Baufeldfläche						$R_{s,e} = 0,17$	
spezif. Bauteilmasse						$R_{s,i} = 0,00$	
spezif. Transmissionswärmeverlust						U - Wert	
wirksame Wärmespeicherfähigkeit						0,14 W/m²K	
114,66 m²						27,2 %	
548,7 kg/m²						16,51 W/K	
22,2 %						$C_{s,e} = 6034 \text{ kJ/K}$	
						$m_{s,e} = 5765 \text{ kg}$	

Baufeld:		Geschosdecke				Fläche : 46,80 m²	
	Nr.	Baustoff	Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand	
			cm	W/(mK)	kg/m³	m²K/W	
	1	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714802)	4,00	1,100	1800,0	0,04	
	2	Dichtungsbahn Polyethylen (PE) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142712507)	0,02	0,500	980,0	0,00	
	3	EPS-T 650 graulichwarz (11 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714808)	3,00	0,033	11,0	0,91	
	4	Gebundenes EPS-(NEU) Granulat Typ BEPS-WD (82 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142715067)	7,00	0,050	82,0	1,40	
	5	Polymerbitumen-Dichtungsbahn (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142854391)	0,40	0,230	1100,0	0,02	
	6	Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714807)	20,00	2,300	2300,0	0,09	
	7	XPS-G 50 80 bis 100 mm (38 kg/m³) (Katalog "baustoff", Stand: 25.05.2016, Kennung: 2142714946)	16,00	0,037	38,0	4,32	
						$R_s = 8,77$	
Baufeldfläche						$R_{s,e} = 0,17$	
spezif. Bauteilmasse						$R_{s,i} = 0,00$	
46,80 m²						U - Wert	
548,7 kg/m²						0,14 W/m²K	
						$C_{s,e} = 2463 \text{ kJ/K}$	
						$m_{s,e} = 2353 \text{ kg}$	

Fenster:		3-Scheiben-WS-Vergl. (U: 0,60) - Hochwärmedämmender Holzrahmen (natur)		Anzahl / Ausrichtung :		S	G
	Verglasung:	Dreifach-Wärmeschutzglas G96, Ug=0,6 (4/14/4/14/4 Argon)		$A_g = 2,00 \text{ m}^2$	$U_g = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	Rahmen:	Hochwärmedämmender Holzrahmen (natur)		$A_r = 0,64 \text{ m}^2$	$U_r = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	Randverbund:	Kunststoff		$l_b = 6,00 \text{ m}$	$\Psi_b = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	U-Wert berechnet mit Prüfbremmal (Größe: 1,23 m x 1,40 m, gleiche Rahmenbreite): 0,84 W/m² K				Fläche $A_w = 2,64 \text{ m}^2$	U-Wert $U_w = 0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$	

Fenster:		3-Scheiben-WS-Vergl. (U: 0,60) - Hochwärmedämmender Holzrahmen (natur)		Anzahl / Ausrichtung :		4	O
		3-Scheiben-WS-Vergl. (U: 0,60) - Hochwärmedämmender Holzrahmen (natur)				1	N
	Verglasung:	Dreifach-Wärmeschutzglas G96, Ug=0,6 (4/14/4/14/4 Argon)		$A_g = 0,96 \text{ m}^2$	$U_g = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	Rahmen:	Hochwärmedämmender Holzrahmen (natur)		$A_r = 0,48 \text{ m}^2$	$U_r = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	Randverbund:	Kunststoff		$l_b = 4,40 \text{ m}$	$\Psi_b = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	U-Wert berechnet mit Prüfbremmal (Größe: 1,23 m x 1,40 m, gleiche Rahmenbreite): 0,84 W/m² K			Fläche $A_w = 1,44 \text{ m}^2$	U-Wert $U_w = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$		

## **VI. Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Kramsach, im Juli 2016

Bernhard Schmidt